

Aus der Klinik für Gynäkologie, gynäkologische Endokrinologie und Onkologie  
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Uwe Wagner

Aus dem Institut für Biomechanik und Orthopädie  
der Deutschen Sporthochschule Köln  
Institutsleiter: Prof. Dr. Gert-Peter Brüggemann

## **Biomechanische Belastungen vor und nach operativer Therapie der Mammahypertrophie**



INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin  
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

Anneke Marlene Sycha  
aus Frankenberg (Eder)

Marburg 2013

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
am: 11.07.2013.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund  
Referent: Prof. Dr. U. Wagner  
Korreferent: Prof. Dr. K. J. Klose

## **Abkürzungen**

BH    Büstenhalter

BMI   Body-Maß-Index

ca.    circa

d.h.   das heißt

e.g.   exempli gratia

etc.   et cetera

evtl.   eventuell

o.g.   oben genannte

s.g.   so genannte

Syn.   Synonym

u.a.   unter anderem

z.B.   zum Beispiel

## **Inhalt**

	Seite
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Grundlagen der Mammahypertrophie	7
1.1.1 Allgemeines: Die Brustdrüse	7
1.1.2 Äthiologie und Pathogenese	7
1.1.3 Klinische Symptomatik der Mammahypertrophie	9
1.1.4 Therapie	12
1.2 Fragestellung	13
1.2.1 Allgemeine Problematik und Studienlage	13
1.2.2 Grenzen der Indikationsstellung bei Reduktionsplastik	14
1.2.3 Spezielle Fragestellung: Grundlegende Untersuchungen	16
1.2.4 Erforschung der dynamischen Vorgänge am Halteapparat	17
<b>2 Patienten, Material und Methoden</b>	<b>18</b>
2.1 Studiendesign	18
2.2 Patienten	18
2.2.1 Patientenkollektiv	18
2.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien	19
2.2.3 Patientendaten	19
2.2.4 Patienteninformation	21
2.3 Die Untersuchung: Bewegungsanalyse mit Motus	21
2.3.1 Einführung	21
2.3.2 Untersuchungsziele	22
2.3.3 Untersuchungszeitpunkt	22
2.4 Durchführung der Untersuchung	23
2.4.1 Retroflektierende Marker	23
2.4.2 Kalibrierung	24
2.4.3 Aufnahme	24
2.4.4 Versuchsablauf	26
2.5 Datenverarbeitung	27
2.6 Auswertung	29
2.6.1 Definition der Referenzpunkte	29
2.6.2 Definition einer Bewegungsphase	30



2.6.3 Berechnung von Wegen, Kraft und Drehmoment	31
2.6.4 Statistische Auswertung	32
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>33</b>
3.1 Auswahl der Ergebnisse	33
3.1.1 Unterschiedliche Bewegungsausprägungen	33
3.1.2 Selektion der Trials	34
3.1.3 Berücksichtigung der Erdbeschleunigung	35
3.2 Bewegungsausmaß der Brust gegenüber dem Thorax	35
3.3 Kraft	42
3.4 Drehmoment	55
3.5 Vergleich der Kraft mit und ohne BH	64
<b>4 Diskussion</b>	<b>72</b>
4.1 Einleitung	72
4.2 Übersicht über die bisher veröffentlichte Literatur	72
4.3 Aktuelle Kontroverse	77
4.4 Neuer Blickwinkel: Dynamische Vorgänge	77
4.5 Aktuelle Studie	78
4.6 Interpretation der Einzelergebnisse	79
4.6.1 Bewegungsausmaß der Brust gegenüber dem Thorax	79
4.6.2 Kraft	80
4.6.3 Drehmoment	81
4.6.4 Vergleich der Kraft mit und ohne BH	81
4.7 Vergleich mit der Literatur	82
4.8 Limitationen dieser Studie	84
4.9 Schlussfolgerungen	85
4.10 Zukunftsaussichten	86
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>87</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b>	<b>91</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>97</b>

<b>7.1 Rohdaten Ergebnisse</b>	<b>97</b>
<b>7.2 Liste der akademischen Lehrer</b>	<b>111</b>
<b>7.3 Danksagung</b>	<b>112</b>

# **1 Einleitung**

## **1.1 Grundlagen der Mammahypertrophie**

### **1.1.1 Allgemeines: Die Brustdrüse**

Die Brustdrüse ist eine Hautanhangsdrüse und entsteht während der Embryonalentwicklung aus der Milchleiste. Sie ist ein paariges Organ, lokalisiert an der Vorderseite des Thorax, zwischen der 2./3. und 6./7. Rippe sowie von der Linea parasternalis bis zur Linea axillaris reichend [Peters 1998].

Im Gegensatz zum Menschen ist bei anderen Primaten die Brustdrüse bei den Weibchen nur während der Stillphase deutlich zu sehen und bildet sich außerhalb der Stillzeit soweit zurück, dass sie kein Körpermerkmal mehr darstellt. Dies verhält sich beim Menschen anders: Die Brustdrüse ist sowohl in als auch außerhalb der Stillzeit zu sehen, ohne dass dies einen Einfluss auf die Primärfunktion der Drüse hat. Die Bedeutung der stets sichtbaren Brustdrüse beim Menschen ist ungeklärt. Hypothesen dazu gibt es, allesamt jedoch unbewiesen. In jedem Falle wirkt sie als sekundäres Geschlechtsmerkmal.

Die Brust setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen: das eigentliche Drüsengewebe - ein epitheliales Gangsystem -, Bindegewebe und große Anteile von Fettgewebe. Stärkere kollagene Faserbündel, die Ligamenta suspensoria mammaria, auch Coopersche Ligamente, strahlen von der Fascia pectoralis in den Bindegewebskörper ein und bewirken so eine gewisse Stabilität der Form [Pandya und Moore 2011].

Der Drüsenanteil ist relativ unabhängig von der Brustgröße und macht den geringsten Teil des Gesamtvolumens aus. Die Stillleistung ist nicht proportional zur Gesamtdrüsenmenge, sondern proportional zum Drüsenepithel, das sich bei großen und kleinen Brüsten nicht wesentlich von einander unterscheidet.

Die Größenvariationen der weiblichen Brust sind im Allgemeinen bestimmt durch den Anteil des Fett- und Bindegewebes [Pandya und Moore 2011].

### **1.1.2 Äthiologie und Pathogenese**

Die Brustgröße ist genetisch determiniert und hormonell nur bedingt steuerbar [Strittmatter et al. 2004]. Als ursächlich für die inadäquate Größenzunahme der Brust wird eine anlagebedingte gesteigerte Sensibilität der Hormonrezeptoren vor allem der juvenilen Brust mit einer überschießenden Epithelproliferation diskutiert [Morimoto et al 1993; Noczynska et al. 2001].

Die Brustgröße ist aber auch rassenabhängig. Die Brustgrößen bei der kaukasischen Rasse, wie sie in Europa und Nordamerika vorherrscht, sind vollkommen andere als zum Beispiel bei Asiaten. Das macht Definitionen von Normgrößen von Brüsten per se schwierig.

So ist in der medizinischen Literatur nicht klar definiert, was unter einer durchschnittlich normal großen bzw. einer hypertrophen Brust zu verstehen ist [Strittmatter et al. 2004].

Unter Mammahypertrophie (Syn.: Mammahyperplasie, Makromastie, Gigantomastie) versteht man die überproportionale Größenzunahme der weiblichen Brust über das dem Alter und den Körperproportionen entsprechende Maß hinaus, ausgenommen eine Größenzunahme durch Traumata, Tumoren, Blutungen, Infektionen und Schwangerschaft [Foged 1953].

Nach zunächst regelrechter Brustentwicklung wächst die Brustdrüse, meist symmetrisch, unverhältnismäßig weiter. Die übergroße Brust entwickelt sich in vielen Fällen schon in einem jungen Lebensalter, hauptsächlich während der Pubertät und Adoleszenz, kann jedoch auch in späteren Lebensjahren auftreten [Strömbeck 1964; Peters 1998].

Hiervon zu unterscheiden ist die Graviditätsmakromastie, eine physiologische und reversible Hypertrophie der weiblichen Brustdrüse, die sich nach Schwangerschaft und Stillzeit in der Regel wieder zurückbildet.

Histologisch zeigt sich bei der Mammahypertrophie eine starke tubuläre Proliferation mit Weitstellung des Gangsystems und Hyperplasie des Epithels, meistens im Sinne fibroadenomatöser Strukturen. Fett- und Bindegewebe weisen ebenfalls eine erhebliche Zunahme auf [Bässler 1978; Peters 1998].

### 1.1.3 Klinische Symptomatik der Mammahypertrophie

Anamnestisch und klinisch fällt die Mammahypertrophie durch massive körperliche Symptomenkomplexe auf, oftmals in Verbindung mit psychischen Symptomen [Gonzales et al. 1993; Miller et al. 1995; Boschert et al. 1996; Schnur et al. 1997; Glatt et al. 1999; Blomqvist et al. 2000; Mizgala und MacKenzie 2000; Chao et al. 2002; Strittmatter et al. 2004].

Physiologischerweise ist die Fixierung der Brustdrüse analog der Fixierung der Haut an der Unterlage angelegt. Hierzu durchziehen Bindegewebszüge (Cooper-Ligamente) die Brustdrüse und inserieren an der darunter liegenden Faszienstruktur, in der Regel auf dem Musculus pectoralis major und kaudal davon an der Abdominalfaszie. Ein Teil der Haltefunktion wird von der umhüllenden Haut übernommen. Diese Haltekonstruktion ist bei einer durchschnittlich großen Brust für die physiologische Fixierung geeignet.

Bei Inspektion ist das klinische Bild der Mammahypertrophie durch eine schwere Ptose der Brüste mit vergrößertem Warzenhof und verstrichener Mamille charakterisiert [Peters 1998; Petzold und Distler 2004]. Eine Wasserretention durch erschwerten lymphatischen Rückfluss und eine verminderte Blutzirkulation führt zu einem Schwere- und Spannungsgefühl so wie Sensibilitätseinschränkung der Brustwarze.

Mit zunehmender Größe und Schwere der Brust versagt die bindegewebige Fixierung am Thorax durch Überdehnung oder Abriss, so dass das Brustgewicht ausschließlich über die umgebende Haut getragen wird. Dies führt zu einem kontinuierlichen Hautzug, der sich nach kranial auf die Schulterregion fortsetzt. Dies wiederum führt zu Belastungen von Muskelgruppen, die für diese Tragefunktion nicht ausgelegt sind [Pega et al. 2006].

Durch das unverhältnismäßig hohe Gewicht der Mammæ wird der Schwerpunkt des Oberkörpers nach ventral verlagert. Diese Beeinträchtigung der statischen Balance im Oberkörper macht ein Entgegenwirken verschiedener Muskelgruppen erforderlich [Peters 1998]. Vor allem die Rückenmuskulatur, aber auch die Schultergürtel- und Halsmuskulatur hypertrophiert unter dieser Überbelastung und verspannt im weiteren

Verlauf zunehmend. So geben Patientinnen mit Mammahypertrophie oft Nackenschmerzen, Schmerzen im Schultergürtel und Thorax sowie Rückenschmerzen überwiegend in thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenabschnitten an [Schnur et al. 1997; Hermans et al. 2005].

Durch Überlastung und andauernde Verspannungen der Nackenmuskulatur kommt es zu einer Fixierung der Halswirbelsäule, die teilweise ihre Mobilität einbüßt. In diesem Zusammenhang klagen Patientinnen mit Mammahypertrophie häufig über nackeninduzierte Kopfschmerzen (Spannungskopfschmerz).

Über die Fehllhaltung des Oberkörpers werden die Belastungssymptomatik und die Schmerzen zusätzlich verstärkt. Patientinnen mit Mammahypertrophie geben oft eine Myogelose im Schulterbereich an [Schnur et al. 1997].

Die Überlastung der Schulter führt zu einem Absinken des Armes und damit zu einer Einengung des Plexus brachialis [Pernia et al. 2000], dem s.g. „thoracic outlet syndrome“ (neurovaskuläres Kompressionssyndrom) [Pega et al. 2006]. Die Patientinnen klagen über Armschmerzen, eine Reduzierung der Kraft und eine Einschränkung der Sensibilität, vor allem des ulnaren Tastempfindens im Sinne von Kribbeln und Taubheitsgefühlen in den Fingern [Kaye 1972; Brown und Young 1993] bis hin zum Karpaltunnelsyndrom [Pernia et al. 2000].

Verstärkt wird diese Symptomatik oft durch ein Einschneiden der Büstenhalterträger in die Schulter [Hermans et al. 2005]. Klinisch fallen bei manchen Patientinnen auch nach Ablegen des Büstenhalters irreversible Einschnürfurchen auf.

Durch das zusätzliche Gewicht am Oberkörper entstehen über längere Zeiträume bei Patientinnen mit Mammahypertrophie sekundär gewichtsbedingte Haltungsschäden und Wirbelsäulenbeschwerden bis hin zum Bandscheibenvorfall. In diesem Zusammenhang wurde für die Mammahypertrophie ein erhöhtes Risiko für irreversible Wirbelsäulenschädigungen nachgewiesen [Benditte-Klepetko et al. 2007].

Weiter berichten Patientinnen über einen gestörten Nachtschlaf [Dabbah et al. 1995; Blomqvist 1996], da sich die Brust in Rückenlage halswärts drängt und die Atmung behindert.

Zudem wurde eine Reduktion der Lungenfunktion beschrieben: In mehreren Studien konnte eine signifikante Verbesserung der Lungenfunktion nach Reduktionsplastik

nachgewiesen werden [Starley et al. 1998]. Die Lungenfunktion nach Reduktionsplastik korreliert mit dem Gewicht des resezierten Gewebes [Iwuagwu et al. 2006]. Vermutet wird hierbei eine Abnahme der Thoraxwand-Compliance durch die übergroße Brust [Starley et al. 1998].

Ein selteneres Symptom bei Mammahypertrophie ist die submammäre Intertrigo [Hermans et al. 2005]. Durch die Ptosis mammae kommt es zum Wundsein im Unterbrustbereich mit Entwicklung eines hochroten, nässenden Erythems mit nachfolgender bakterieller oder mykotischer Infektion.

Alle körperlichen Symptome verstärken sich bei Bewegung. Patientinnen mit Mammahypertrophie erfahren vielerlei Einschränkungen im täglichen Leben, sowohl normale Alltagsverrichtungen als auch verstärkte körperliche Arbeit betreffend. Sportliche Betätigungen sind erschwert durchführbar oder durch starke Brustschmerzen unmöglich.

Über die physische Beschwerdesymptomatik hinaus existieren psychosoziale und emotionale Probleme, vor allem in Hinsicht auf den soziokulturellen Aspekt der Mammahypertrophie.

Die Patientinnen haben ein eingeschränktes weibliches Selbstbild mit dem Gefühl der Deformierung. Im Umgang mit anderen Menschen fühlen sie sich häufig auf die übergroße Brust reduziert [Gonzales et al. 1993; Netscher et al. 1999; Blomqvist et al. 2000], sie berichten über „auffällige Blicke der Männer“ mit Demütigungsgefühl. Dies führt zu Schamgefühl, Befangenheit gegenüber Mitmenschen und fehlendem Selbstwertgefühl [Hollyman et al. 1986] bis hin zu starken Depressionen, Kontaktarmut und sozialem Rückzugsverhalten.

Frauen mit Mammahypertrophie fühlen sich gehemmt beim Schwimmen und anderen Sportarten und schränken ihre Freizeitaktivitäten ein.

Große Schwierigkeiten entstehen beim Kleiderkauf [Hermans et al. 2005], da unterschiedliche Konfektionsgrößen für die Brust und die Taille benötigt werden. Manche Frauen sind sehr geübt darin, die übergroße Brust durch geschickte Kleidung und gezielte Körperfehlhaltung zu verstecken [Strittmatter et al. 2004].

Jüngere Frauen klagen vor allem über psychische Belastungen. Bei älteren Frauen hingegen führen eher die durch die langjährige Wirbelsäulenbelastung manifesten körperlichen Symptome der Mammahypertrophie zur Indikationsstellung einer Reduktionsplastik [Young und Watson 2006].

#### 1.1.4 Therapie

Die übergroße Brust stellt für sich selbst keine anerkannte Krankheit dar. Aus dem gesamten Symptomenkomplex werden die meisten Symptome von den Betroffenen hingenommen, vor allem aus Scham vor dem vermeintlich kosmetischem Eingriff oder aufgrund der ausbleibenden Kostenübernahme durch die Krankenkassen, und statt dessen in Eigentherapie konservativ angegangen. Die Symptome, die am häufigsten zur Inanspruchnahme von medizinischen Leistungen führen, sind die Schulterschmerzen, die Schmerzen in der Wirbelsäule und die nackeninduzierten Kopfschmerzen. Die hier eingesetzten therapeutischen Maßnahmen um die vermeintlich orthopädischen Beschwerden evtl. auf nicht-operative Weise zu bessern zeigen ein breites Spektrum: Analgetika und Antiphlogistika, Massagen und Fango-Packungen, physiotherapeutische Rückenschule, Fitnessstudio und Kur-Maßnahmen [Pega et al. 2006]. Weitere Kosten entstehen durch Arbeitsunfähigkeitszeiten und Ausschlußdiagnostik, meist orthopädisch und neurologisch.

Bereits 1923 beschrieb Hübener die Erfolglosigkeit konservativer Therapiemaßnahmen [Hübener 1923]. Bisher gibt es weiterhin keine Studien, welche die Wirksamkeit solcher Maßnahmen belegen [Collins et al. 2002].

Da die konservative Behandlung keine Kausaltherapie darstellt, werden die genannten Behandlungen über längere Zeiträume wiederholt abgerufen und stellen damit auch einen volkswirtschaftlichen Faktor dar.

Die einzige kausale Therapie bei symptomatischer Mammahypertrophie ist die Mammareduktionsplastik [Strittmatter et al. 2004; Pega et al. 2006]. Dies ist einer der am häufigsten durchgeführten Eingriffe in der plastischen Chirurgie, allein in Deutschland werden ca. 30.000 dieser Operationen pro Jahr durchgeführt [Borkenhagen et al. 2007], betroffen sind 9,5 pro 100.000 Frauen [Klassen et al. 1996].



Aufgrund des oben geschilderten Symptomkomplexes und des außerordentlichen Leidensdruck der Patientinnen wird diese Operation in der Literatur und bei den operativ tätigen Klinikern als medizinischer Eingriff angesehen [Young und Watson 2006, Borkenhagen et al. 2007]. Bei einem medizinisch indizierten Eingriff liegt ein Krankheitsbild vor, welches einer entsprechenden Therapie bedarf um negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Betroffenen so gering wie möglich zu halten. Häufig ist die Maßnahme aufgrund eines bestimmten Symptoms oder Symptomenkomplexes, welches die Betroffene offensichtlich in ihrer Lebensqualität beeinträchtigt, angezeigt. Ziel ist die Behandlung der Beschwerdesymptomatik, nicht die primäre Veränderung des äußeren Körperbildes.

Hiervon abzugrenzen ist eine rein kosmetische Operation, welche nicht weiter abhängig ist von somatischen Symptomenkomplexen. Sie dient einer oft nur subjektiv wahrgenommenen Verschönerung des menschlichen Körpers. Die Steigerung und Verbesserung des eigenen Aussehens stellt das Hauptmotiv für kosmetische Operationen dar.

## 1.2 Fragestellung

### 1.2.1 Allgemeine Problematik und Studienlage

Bisher wurden einige Studien zur Untersuchung der symptombezogenen Verbesserung nach Reduktionsplastik durchgeführt, die meisten konzentrieren sich jedoch auf subjektive Parameter [Hollyman et al. 1986; Gonzales et al. 1993; Berg et al. 1994; Miller et al. 1995; Boschert et al. 1996; Klassen et al. 1996; Schnur et al. 1997; Shakespeare und Cole 1997; Starley et al. 1998; Faria et al. 1999; Glatt et al. 1999; Horch et al. 1999; Shakespeare und Postle 1999; Behmand et al. 2000; Blomqvist et al. 2000; Mizgala und MacKenzie 2000; Chadbourne et al. 2001; Kerrigan et al. 2001; Chao et al. 2002; Collins et al. 2002; Lee et al. 2003; Sood et al. 2003; Strittmatter et al. 2004; Hermans et al. 2005; Wagner et al. 2005; O’Blenes et al. 2006; Borkenhagen et al. 2007; Freire et al. 2007; Sigurdson et al. 2007; Spector und Karp 2007; Thoma et al. 2007; Neto et al. 2008; Rogliani et al. 2009; Spector et al. 2008; Ducic et al. 2010; Singh et al. 2010; Zwiorek et al. 2011].

In Anbetracht der allgemeinen Diskussion über die Definition und den Krankheitswert der Mammahypertrophie und der bisher noch geringen Anzahl an objektivierbaren Daten in Bezug auf den rein körperlich-funktionellen Aspekt der Erkrankung sind viele Krankenkassen jedoch nicht von der heilenden Wirkung des operativen Verfahrens überzeugt und bewilligen daher die Kostenübernahme in vielen Fällen und in zunehmendem Maße nicht [Strittmatter et al. 2004, Eisenmann-Klein 2006]. An dieser Stelle sei auf den Abschlussbericht der Projektgruppe P 29 a verwiesen, ein Begutachtungsleitfaden des Medizinischen Dienstes der Krankenkassen. Hierin heißt es: „Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass auch eine Revision der aktuellen Literatur zur Sicherung der medizinischen Indikation der Reduktionsplastik bei Makromastie nichts Neues beigetragen hat.“ [Projektgruppe P 29 a des MDK, 2002].

Die Reduktionsplastik bei Mammahypertrophie gilt bei den Krankenkassen statt dessen weiterhin als kosmetische Operation [Glatt et al. 1999, Borkenhagen et al. 2007, Deb und Menke 2004, Raispis et al. 1995, Dieterich und Dumont dos Santos 2004].

In diesem Zusammenhang kann man beobachten, dass die Bewilligung zur Kostenübernahme durch den Medizinischen Dienst der Krankenkassen in den meisten Fällen trotz vorgegebenem Begutachtungsleitfaden individuell sehr unterschiedlich von statten geht, sowohl was Patientin als auch Begutachter betrifft [Strittmatter et al. 2004]. Oft wird als erste konservative Maßnahme eine Gewichtsreduktion verlangt, deren Wirksamkeit aus der aktuellen Studienlage ebenfalls nicht hervorgeht [Collins et al. 2002].

### 1.2.2 Grenzen der Indikationsstellung bei Reduktionsplastik

In Bezug auf die Unterscheidung einer eutrophen von einer hypertrophen Brust existieren in der Literatur unterschiedliche Angaben. Global anerkannte und allgemein gültige Definitionen zum Grenzwert der Normalität existieren nicht.

Für die Bevölkerung in Mitteleuropa wird eine normalgroße Brust etwa bis zu einem Gewicht von 250 g bis 500 g pro Seite angesehen [Pega et al. 2006]. Zwischen 500 g und 1500 g pro Brust wird meist von unterschiedlichen Ausprägungsgraden einer Mammahypertrophie gesprochen. Oberhalb von 1500 g pro Seite wird meist der

Ausdruck „Gigantomastie“ benutzt [Peters 1998; Peters 2002]. Diese Zahlen sind für Deutschland die am häufigsten genannten.

Da somit noch nicht einmal die normalgroße Brust klaren Definitionen unterliegt, gibt es folglich noch weniger eine Grenze zur Indikationsstellung zur Reduktionsplastik. Die Brustverkleinerung wird meist nur bei medizinischer Indikation bewilligt, welche mangels objektiver Kriterien verschiedene pauschale Regelungen zur Grundlage hat. Unberücksichtigt dabei bleibt, dass die Größe, ab welcher die Mammahypertrophie symptomatisch wird, für jede Patientin individuell unterschiedlich ist [Strittmatter et al. 2004; Glatt et al. 1999].

Manche Krankenkassen arbeiten mit einem pauschal festgelegten Resektionsgewicht von mindestens 500 g pro Seite [Benditte-Klepetko et al. 2007]. Einige Schweizer Krankenkassen definieren die Makromastie retrospektiv: Die Diagnose „Makromastie“ wird dann anerkannt, wenn mindestens 500 g Gewebe pro Seite entfernt werden mussten, um eine normale Brustgröße zu erreichen [Davis et al. 1995; Seitchik 1995; Glatt et al. 1999].

Ein weiteres in der Literatur vorgeschlagenes Kriterium ist die Verwendung der Büstenhalter-Körbchengröße. Körbchengröße D und größer [Boschert et al. 1996; Kerrigan et al. 2001] in Kombination mit körperlichen Symptomen sollen in Anpassung an die Körperproportionen der Patientin von den Versicherungsträgern akzeptiert werden. Andere Versicherungen verlangen sogar dokumentierte radiologische Skelettveränderungen [Schnur et al. 1991].

Bei der pauschalen Regel von 500 g Resektionsgewicht als Grundlage zur medizinisch indizierten Brustverkleinerung sind jedoch Frauen unterhalb und oberhalb der Durchschnittsgröße und des Durchschnittsgewichtes ganz klar benachteiligt [Benditte-Klepetko et al. 2007]. Grundsätzlich haben größere und schlankere Patientinnen mit vielen funktionellen Beschwerden bessere Chancen bei den Krankenkassen als kleine adipösere Frauen [Strittmatter et al. 2004].

Unter anderem wird der BMI als Basis für eine medizinisch indizierte Brustverkleinerung empfohlen. Bei dieser Methode werden die Körperproportionen berücksichtigt, damit auch sehr schlanke und adipösere Patientinnen von der Regelung profitieren [Kompatscher et al. 2005].

Somit gehen aus der aktuellen Studienlage zahlreiche Vorschläge zur Herangehensweise bei der Indikationsstellung zur Mammareduktionsplastik hervor. Trotz und gerade wegen dieser Auswahl gibt es bei den Krankenkassen in Deutschland und Europa jedoch kein einheitliches Vorgehen. Obwohl der Krankheitswert offensichtlich ist, werden weiterhin viele Anträge zur Kostenübernahme von den Krankenkassen abgelehnt. Weiterhin gibt es kein einheitliches Kriterium, welches zumindest einen großen Teil des Patientenkollektivs mit einfasst.

### 1.2.3 Spezielle Fragestellung: Grundlegende Untersuchungen

Bisher wurden hauptsächlich Studien zur subjektiven Symptomverbesserung nach Reduktionsplastik veröffentlicht. Dabei hat sich durchgehend eine postoperative Beschwerdefreiheit oder zumindest eine massive Symptomverbesserung gezeigt [Hollyman et al. 1986; Gonzales et al. 1993; Berg et al. 1994; Miller et al. 1995; Boschert et al. 1996; Klassen et al. 1996; Schnur et al. 1997; Shakespeare und Cole 1997; Starley et al. 1998; Faria et al. 1999; Glatt et al. 1999; Horch et al. 1999; Shakespeare und Postle 1999; Behmand et al. 2000; Blomqvist et al. 2000; Mizgala und MacKenzie 2000; Chadbourne et al. 2001; Kerrigan et al. 2001; Chao et al. 2002; Collins et al. 2002; Lee et al. 2003; Sood et al. 2003; Strittmatter et al. 2004; Hermans et al. 2005; Wagner et al. 2005; O’Blenes et al. 2006; Borkenhagen et al. 2007; Freire et al. 2007; Sigurdson et al. 2007; Spector und Karp 2007; Thoma et al. 2007; Neto et al. 2008; Rogliani et al. 2009; Spector et al. 2008; Ducic et al. 2010; Singh et al. 2010; Zwiorek et al. 2011].

Inzwischen zeichnet sich die Notwendigkeit einer Erforschung der grundsätzlichen pathologischen Mechanismen bei der Mammahypertrophie immer klarer ab. Die Notwendigkeit objektiver Studien und Daten zum Nachweis vor allem des körperlichen Beschwerdekomples und der Effektivität der Mammareduktionsplastik wird immer deutlicher. Es finden sich hierzu in der Fachliteratur bereits einige statische Messungen zur Belastung des Halteapparats und Überprüfung der Lungenfunktion [Starley et al. 1998; Sood et al. 2003; Iwuagwu et al. 2006] vor und nach operativer Korrektur der Mammahypertrophie mit statistisch signifikanten Ergebnissen.

#### 1.2.4 Erforschung der dynamischen Vorgänge am Halteapparat

Kaum untersucht sind jedoch die dynamischen Vorgänge an der Wirbelsäule bei Patientinnen mit Mammahypertrophie. Der Pathomechanismus, der bei übergroßer Brust zu oben genanntem Beschwerdekomples führt, ist bisher kaum verstanden. Die Frage, was bei normalen Alltagsbewegungen am Halteapparat tatsächlich passiert, ab welcher Brustgröße an den belasteten Stellen reversible und irreversible Schäden entstehen und wann in diesem Zusammenhang ein operativer Handlungsbedarf besteht, wird bisher noch diskutiert.

Die Belastung durch eine Mammahypertrophie wurde in den bisher veröffentlichten Studien an der messbaren Masse der unbeweglichen Brust abgeleitet. Hierbei handelt es sich um eine rein statische Betrachtungsweise, die stark vereinfacht, da die Brust bei Bewegung der Frau eine eigene dynamische Bewegung ausführt. Aus dieser erwächst eine dynamische Belastung, die über das Brustgewicht hinausgeht. Daher ist es notwendig, die Belastung, die eine bewegliche Brust auf das Skelettsystem ausübt, unter dynamischen Gesichtspunkten zu betrachten und nicht nur unter statischen.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, zu untersuchen, ob sich die dynamischen Belastungen unter Mammahypertrophie messen lassen und ob solche Parameter erhoben werden können, die geeignet sind, die Veränderungen nach einer Operation zu objektivieren. Im Einzelnen lauten die Fragestellungen in dieser Studie:

- Ist die dynamische Belastung und damit die potentielle Belastung des Skelettsystems durch die hypertrophe Mamma in Bewegung messbar?
- Ist es möglich mittels objektiver physikalischer Daten eine Veränderung der biomechanischen Belastung vor und nach Reduktionsplastik der Mammahypertrophie nachzuweisen?
- Kann eine konservative Maßnahme wie die adäquate BH-Versorgung einen ähnlichen Effekt erzielen wie die operative Therapie der Mammahypertrophie?

## **2 Patienten, Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Zur Erforschung der Grundlagen der dynamischen Vorgänge am Halteapparat bei Patientinnen mit Mammahypertrophie existieren keine anerkannten Untersuchungsverfahren.

In der Entstehungsphase dieser Arbeit wurden verschiedene Ideen entwickelt und theoretisch erarbeitet um die dynamischen Vorgänge bei hypertropher Brust zu untersuchen. Im Anschluss wurden die erstellten Untersuchungskonzepte mit Instrumenten und Methoden des Instituts für Biomechanik und Orthopädie der Sporthochschule Köln umgesetzt. Dies geschah in Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts.

Dabei wurde das zur Erforschung der dynamischen Bewegungsabläufe am menschlichen Körper entwickelte Verfahren der Bewegungsanalyse genutzt und bezüglich der speziellen Fragestellung zur Bewegung der weiblichen Brust gegenüber der Körperachse und die hierdurch ableitbare Belastung des Halteapparats modifiziert.

Es handelt sich um eine prospektive klinische Untersuchung. Dabei wurde ein definiertes Patientengut, welches in einem bestimmten Zeitraum aufgrund einer Mammahypertrophie operativ versorgt wurde, untersucht.

### **2.2 Patienten**

#### **2.2.1 Patientenkollektiv**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde ein Kollektiv von sieben Patientinnen mit Mammahypertrophie zusammengestellt.

Die hierfür zugängige Gruppe bestand aus Patientinnen, die sich zur Durchführung einer Mammareduktionsplastik bei beidseitiger Mammahypertrophie in der ambulanten Brustsprechstunde der Frauenklinik des Universitätsklinikums Marburg vorstellten. Sämtliche hierbei rekrutierten Patientinnen wurden in dieser Klinik

operiert, es wurde eine Mammareduktionsplastik beidseits mit gestieltem Brustwarzentransplantat durchgeführt.

### 2.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen in die Studie wurden Patientinnen mit beidseitiger Mammahypertrophie, die sich bisher noch keiner operativen Therapie unterzogen hatten. In allen Fällen lag eine Genehmigung der Kostenübernahme durch die jeweilige Krankenkasse vor. Ausgeschlossen von der Studie wurden Patientinnen mit Gehbehinderung und/oder anderweitig eingeschränkter Bewegungsfähigkeit, die das Gehen und Laufen auf einem Laufband limitierten.

### 2.2.3 Patientendaten

Das Lebensalter der Patientinnen zum Zeitpunkt der Operation betrug zwischen 18 und 60 Jahren. Das durchschnittliche Lebensalter betrug 40,1 Jahre.

Der Body-Mass-Index lag zwischen 23,5 und 34,8 kg/m<sup>2</sup>, der mittlere BMI lag bei 27,6 kg/m<sup>2</sup>. Das präoperative Brustgewicht rangierte in einem Bereich von 1000 g bis 2500 g pro Brustseite (mittleres präoperatives Brustgewicht 1514 g). Postoperativ ergab sich ein Brustgewicht von 464 g bis 730 g pro Seite (mittleres postoperatives Brustgewicht 616 g). Während der Operation wurde Brustgewebe in einem Bereich von 536 g bis 1770 g pro Seite entfernt, durchschnittlich wurde 898 g Brustgewebe pro Seite entfernt.



Abbildung 1: Archimedische Wasserverdrängungsmethode

Das präoperative Brustgewicht wurde durch die Untersucherin in Form von Näherungsmessungen über das Brustvolumen ermittelt. Genutzt wurde hierzu die archimedischen Wasserverdrängungsmethode, da diese sich besonders zur Volumenmessung asymmetrischer Körper eignet [Bulstrode et al. 2001; Kayar et al. 2011] (siehe Abbildung 1). Dabei wird die Brust in einen maximal mit Wasser gefüllten Behälter eingetaucht und das verdrängte Wasser in einem zweiten Behälter aufgefangen und gemessen.

Es wurden bewusst Patientinnen mit unterschiedlichem Alter, BMI und unterschiedlicher Brustgröße rekrutiert. Dies sollte sicherstellen, dass die erarbeiteten Messmethoden nicht nur für ein Idealkollektiv, sondern für das gesamte Spektrum des klinischen Patientengutes anwendbar sind.

Aufgrund der Patientinnen-Anzahl  $n = 7$  und der Variabilität an äußeren Merkmalen wie Alter, BMI, Brustgewicht und reseziertem Gewicht erfolgte eine detaillierte Auflistung (siehe Tabelle 1). Damit ist es möglich, in der Auswertung Einzelvergleiche zwischen den einzelnen Patientinnen zu machen.

Da bei dieser Studie lediglich das Verhalten der rechten Brust aufgezeichnet wurde wird nur dies in der Auflistung berücksichtigt:

Tabelle 1: Patientendaten

Parameter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Alter bei Operation (Jahre)	30	51	45	53	60	24	18
BMI bei Operation (kg/m <sup>2</sup> )	23,9	34,8	23,5	30,4	27,7	26,3	26,3
Präoperatives Brustgewicht (g)	1500	2500	1000	1300	1600	1200	1500
Reseziertes Brustgewicht (g)	846	1770	536	713	1021	548	850
Resultierendes postoperatives Brustgewicht (g)	654	730	464	587	579	652	650



#### 2.2.4 Patienteninformation

Die Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie setzte die Information der Patientinnen voraus. Diese erfolgte sowohl mündlich als auch schriftlich. Die Information bezog sich auf Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie, die Rechte des Patienten bei der Teilnahme an der Studie sowie therapeutische Alternativen. Die Patientinnen wurden darauf hingewiesen, dass sie jederzeit ihre Teilnahme beenden können und ihnen daraus für die geplante Therapie keine Nachteile erwachsen. Zudem wurden sie darauf hingewiesen, dass ihre Krankheitsdaten im Rahmen der klinischen Prüfung ohne Namensnennung zur wissenschaftlichen Auswertung genutzt werden. Die Aufklärung umfasste folgende Punkte:

- die Art der Erkrankung
- die zu Verfügung stehenden Therapiemöglichkeiten
- Art und Ziele der klinischen Prüfung
- die zu erwartenden Wirkungen und Nebenwirkungen
- den Versicherungsschutz für den Fall einer Schädigung
- die Wahrung der Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz
- die Möglichkeit der Prüfung personenbezogener Daten durch die Behörden oder ordnungsgemäß autorisierte Personen
- Speicherung der Daten in anonymer Form

Für die Studie wurde im Rahmen des Untersuchungsprojektes „Mammahypertrophie“ das Votum der Ethik-Kommission des Fachbereichs Medizin der Universität Marburg eingeholt.

### 2.3 Die Untersuchung: Bewegungsanalyse mit Motus®

#### 2.3.1 Einführung

Bei der Untersuchung handelte es sich um eine Bewegungsanalyse der Mamma gegenüber der Körperachse.

Die in der Frauenklinik des Universitätsklinikums Marburg rekrutierten Patientinnen wurden in dieser Studie einer prä- und postoperativen biomechanischen dynamischen

Messung in Form einer Bewegungsanalyse unterzogen. Hierzu wurde das Programm Vicon Motus 9.2® (Vicon, Los Angeles, CA, USA) verwendet. Dabei handelt es sich um eine speziell entwickelte Software zur dreidimensionalen Aufnahme, Synchronisation und biomechanischen Analyse von sich bewegenden Objekten.

Ziel war es, die Relativbewegung der Brust in Bezug zur Bewegung des Gesamtkörpers darzustellen. Dabei erfolgten Video-Aufnahmen der sich bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegenden Patientinnen auf dem Laufband mit drei in unterschiedlichen Winkeln positionierten Kameras. Die rechte Brust sowie der rechte Thorax waren dabei mit retroflektierenden Markern ausgestattet, welche beleuchtet wurden und somit durch das im Anschluss verwendete oben genannte Analyse-Programm Motus® erfasst werden konnten. Dabei wurden die Marker im dreidimensionalen Raum digitalisiert und standen somit zur Berechnung der biomechanischen Vorgänge zur Verfügung.

### 2.3.2 Untersuchungsziele

Untersuchungsziele waren:

- die Darstellung der Brustbewegung relativ zur Körperbewegung
- die Erfassung der auf den Halteapparat wirkenden dynamischen Effekte der Mamma
- die Erfassung des biomechanischen Effektes durch Tragen eines BHs bei Mammahypertrophie
- die Darstellung der Veränderung der biomechanischen Belastung durch die Brust nach operativer Therapie der Mammahypertrophie

### 2.3.3 Untersuchungszeitpunkt

Die Durchführung der Messungen fand zu zwei Zeitpunkten statt. Die erste Untersuchung wurde vor der geplanten Mammareduktionsplastik durchgeführt. Sechs Monate nach Operation erfolgte die zweite Untersuchung. Zu beiden Zeitpunkten wurden die gleichen Untersuchungen durchgeführt. Sämtliche Messungen wurden an Geräten des Instituts für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln durchgeführt.

## 2.4 Durchführung der Untersuchung

### 2.4.1 Retroflektierende Marker

Die rechte Brust der Patientin wurde mit retroflektierenden Markern ausgestattet. Die Marker wurden folgendermaßen angebracht (siehe Abbildung 2):

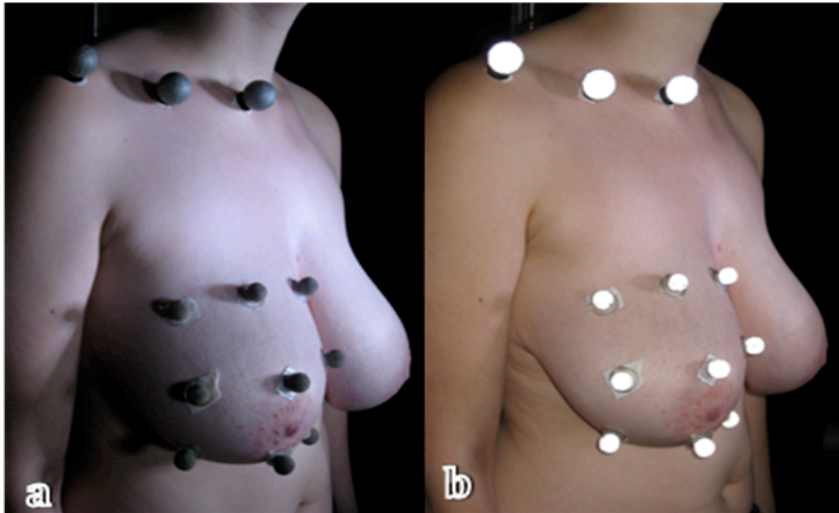


Abbildung 2: a. retroflektierende Marker ohne Lichtquelle. b. mit Lichtquelle

- drei größere Marker an Akromion, Klavikula und Sternum
- neun kleinere Marker an der Brust, angebracht nach einer eigens hierfür konstruierten Schablone (siehe Abbildung 3), die für alle Patientinnen gleichermaßen sowohl prä- als auch postoperativ angewendet wurde

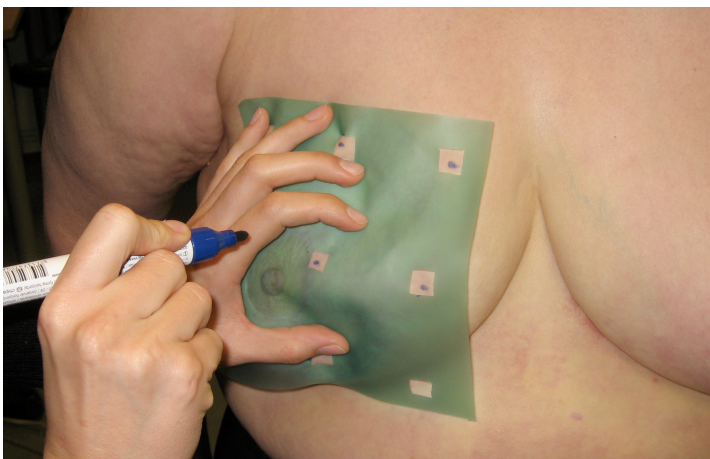


Abbildung 3: Schablonen-Markierung der Brust zur Anbringung der retroflektierenden Marker

Die drei größeren Marker dienten als Referenzmarkierung des Oberkörpers zur Messung der Bewegung des Gesamtkörpers. Die kleineren Marker nahmen die Brustbewegung relativ zum statischen Oberkörper auf.

#### 2.4.2 Kalibrierung

Zunächst erfolgte eine Kalibrierung des Systems über einen 22 x 22 x 22 cm großen, mit retroflektierenden Markern ausgestatteten Würfel, der auf Brusthöhe der Patientin auf dem verwendeten Laufband (cos 10144 von h/p/cosmos sports & medical GmbH, Nussdorf-Traunstein, Deutschland) positioniert wurde (siehe Abbildung 4). Direkte Lineare Transformation (DLT) wurde als Verfahren genutzt, um die eventuell nicht orthogonale Ausrichtung der Kameras zur Bewegungsebene auszugleichen. Mit dem s.g. Genlock-Signal wurde die Kopplung der Aufnahmen der Kameras sichergestellt. Hierbei handelt es sich um ein aus den Fernsehstudios stammendes Verfahren zur Synchronisation verschiedener Videoquellen. Dabei beginnen mehrere Kameras im gleichen Moment den Bildaufbau und es werden Aufnahmen mit den exakt gleichen Einstellungen für Kalibrierung, Farbtreue und Geometrie erstellt.



Abbildung 4: Würfel zur Kalibrierung

#### 2.4.3 Aufnahme

Die Aufnahme erfolgte auf dem Laufband mit drei Basler-Kameras (Af602 von Basler AG, Ahrensburg, Deutschland) (siehe Abbildung 5) und damit verbundenen LED-Leuchten (entwickelt im Institut für Biomechanik und Orthopädie der Sporthochschule Köln) (siehe Abbildung 6).



Abbildung 5: Basler-Kamera

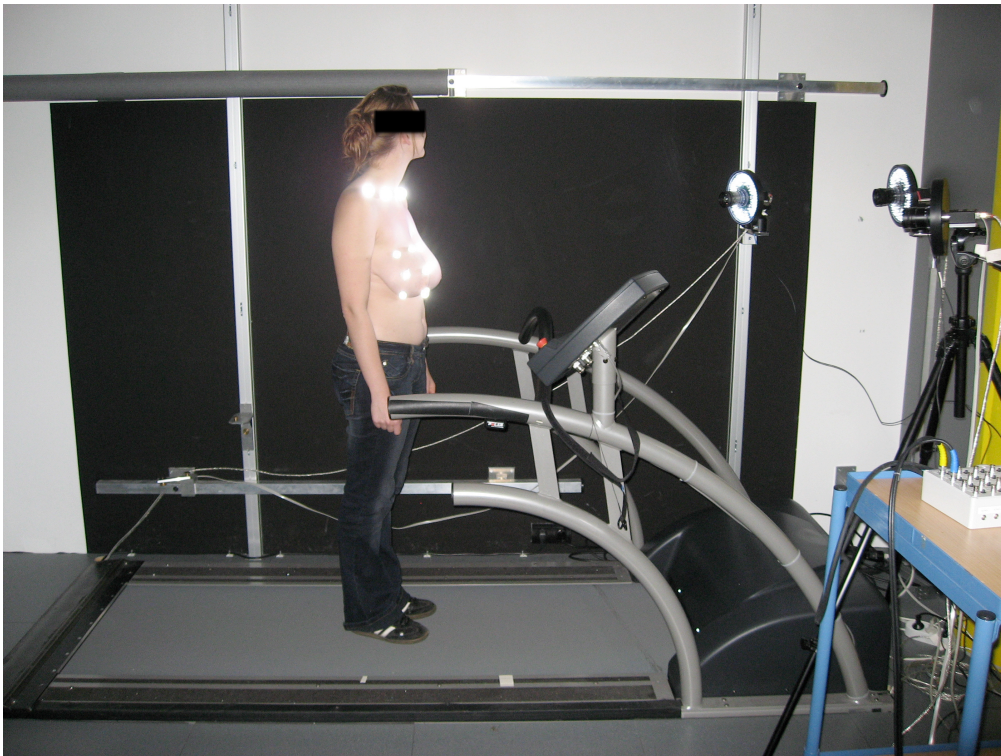


Abbildung 6: Aufnahme auf dem Laufband

Dabei handelt es sich um Flächenkameras, welche aus drei verschiedenen Positionen auf die Patientin ausgerichtet waren. Die Aufnahme­frequenz betrug 75Hz. Die Synchronisierung der Aufnahmen erfolgte über die Vicon Motus 9.2 Software®.

Versuchsmaterial, Versuchsaufbau und die zur Auswertung genutzte Software wurden von der Sporthochschule Köln übernommen und sind für wissenschaftliche Bewegungsanalysen validiert [Potthast 2010].

Die untersuchten Bewegungen waren an die Alltagsbelastung der Patientinnen angepasst: Spazierengehen, zielgerichtetes Gehen in 2 Geschwindigkeiten und

Kurzzeitlaufen, wie es zum Fangen eines spielenden Kindes oder das Erreichen eines Busses etc. eingesetzt wird.

Es wurden keine sportlichen Leistungen dargestellt.

Die Messeinheit mit den Patientinnen erfolgte in verschiedenen Geh- und Laufgeschwindigkeiten sowie im Stehen. Die Aufnahmedauer pro Geschwindigkeitsstufe dauerte 20 bis 30 Sekunden. Es wurden absichtlich nur kürzere Laufphasen gewählt, da das Joggen für Frauen mit hypertropher Brust häufig unkomfortabel ist. Zwischen den einzelnen Aufnahmen wurden Erholungsphasen eingelegt, so dass die Patientinnen sich nicht zu stark belasteten.

Einige Aufnahmen erfolgten sowohl mit als auch ohne BH:

- stehend ohne BH
- stehend mit BH
- 0,8 m/s (= 2,9 km/h) gehend ohne BH (Bewegungsmodus „Spaziergehen“)
- 1,2 m/s (= 4,3 km/h) gehend ohne BH (Bewegungsmodus „normales Gehen im Alltag“)
- 1,5 m/s (=5,4 Km/h) gehend ohne BH (Bewegungsmodus „schnelleres Gehen“)
- 1,5 m/s joggend ohne BH (Bewegungsmodus „langsames Laufen“)
- 1,8 m/s (= 6,5 km/h) joggend ohne BH (Bewegungsmodus „schnelleres Laufen“, z.B. Erreichen eines Busses, Fangen eines Kindes)
- 1,8 m/s joggend mit BH (Bewegungsmodus „schnelleres Laufen“)

Die Patientinnen wurden bereits bei Terminabsprache darauf hingewiesen, Sport-Bekleidung zur Messung auf dem Laufband zu tragen. Der bei der Untersuchung getragene BH wurde von der Patientin selbst gewählt. Häufig besitzen Frauen mit Mammahypertrophie speziell der übergroßen Brust angepasste Büstenhalter. Diese sollten bei der Untersuchung entsprechend zur Darstellung kommen um die Alltagssituation möglichst authentisch wiederzugeben.

#### 2.4.4 Versuchsablauf

Der gesamte Versuchsablauf für die jeweilige prä- und postoperative Messung gestaltete sich folgendermaßen:

Zunächst wurde das Equipment für die drei anstehenden Versuche aufgebaut und anschließend die Patientin für die Versuche vorbereitet und mit den jeweiligen Markern ausgestattet.

Zu jedem Zeitpunkt wurde die Versuchsdurchführung mit den jeweils ausgeführten Bewegungsabläufen (Joggen auf dem Laufband) genaustens beaufsichtigt, um Verletzungen oder Stürze zu vermeiden.

Nach Durchführung der Untersuchungen erfolgte die Datenverarbeitung.

## 2.5 Datenverarbeitung

Zunächst erfolgte die Digitalisierung der retroreflektierenden Marker in den gespeicherten Videoaufnahmen mit der Vicon Motus 9.2 Software® (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Vergleich Momentaufnahme im realen Bild und virtuellen Bild, Patientin 1

Dabei wurden die Marker im automatischen Modus durch die Software nach einer Markierung per Mausklick im laufenden Video zunächst selbst erkannt, eine Feinkorrektur erfolgte anschließend im manuellen Modus.

Die bildliche Darstellung der Patientin wurde durch die Software subtrahiert, so dass die weitere Auswertung in Hinblick auf die Person anonym erfolgen konnte (siehe Abbildung 7-9).



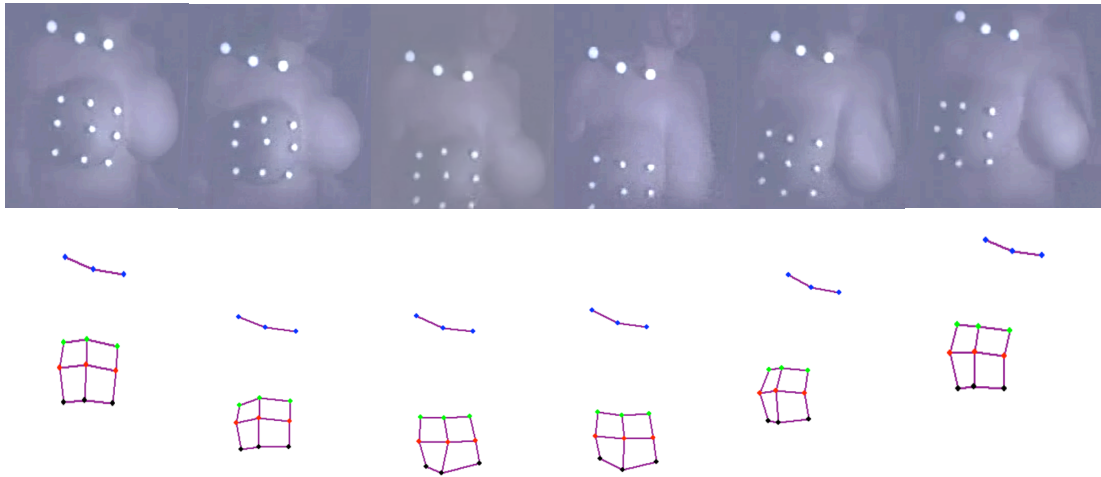


Abbildung 8: Absolutbewegung der Patientin auf dem Laufband, Darstellung eines halben Bewegungszyklus (ein Schritt mit dem rechten Bein) auf dem Laufband in analogen und digitalisierten Bildern, Patientin 1

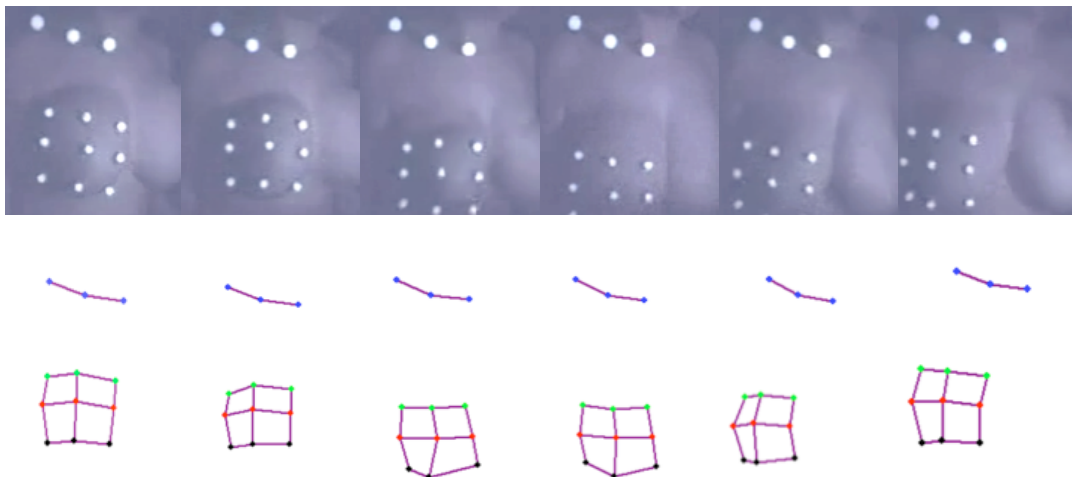


Abbildung 9: Relativbewegung der Brust gegenüber dem Referenzpunkt Klavikula, Darstellung eines halben Bewegungszyklus (ein Schritt mit dem rechten Bein) auf dem Laufband in analogen und digitalisierten Bildern, Patientin 1



## 2.6 Auswertung

### 2.6.1 Definition der Referenzpunkte

Die rechnerische Auswertung der Rohdaten erfolgte mit den Programmen Motus®, Matlab® (The MathWorks, Natick, MA, USA) und Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

Nach Digitalisierung der Marker erfolgte zunächst die Festlegung der zu berechnenden Abstände zwischen den einzelnen Markern. Für die Beobachtung stellt der Thorax das statische Moment dar. Die sich dazu relativ bewegende Brust stellt das dynamische Moment dar. Entsprechend wurden die Referenzpunkte festgelegt. Der mittlere Referenzpunkt der Klavikula-Marker diente als Repräsentant für die Bewegung des Thorax, welcher im Bezug auf die Bewegung der Brust der statische Referenzpunkt ist. Der dynamische Mittelpunkt aus allen Brustmarkern wurde als Vertreter der Brust als bewegender Körper definiert (siehe Abbildung 10). Schwerpunktmäßig wurde die Strecke zwischen diesen beiden Punkten im dreidimensionalen Raum (x-, y- und z-Achse) betrachtet. Dieses dreidimensionale Koordinatensystem wurde am Referenzpunkt Klavikula angesetzt.

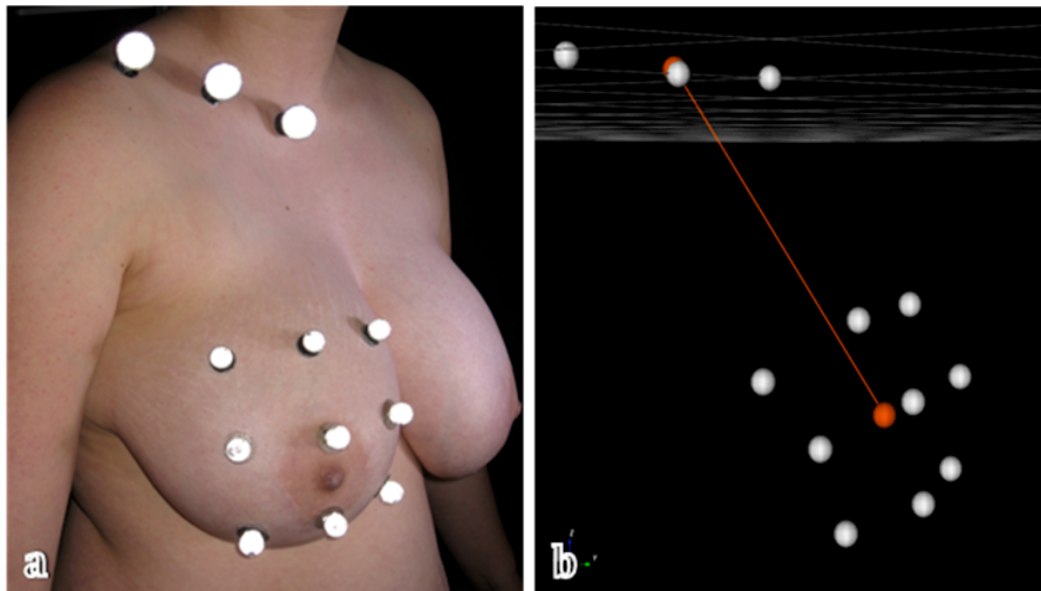


Abbildung 10: a. retroflektierende Marker. b. Schematische Darstellung der errechneten Referenzpunkte Klavikula und Brustmittelpunkt

## 2.6.2 Definition einer Bewegungsphase

Die Auswertung erfolgte über die Festlegung von Phasen im Bewegungsablauf Gehen/Joggen auf dem Laufband.

Die Brust führt in der festgelegten Bewegungsphase eine sich wiederholende Pendelbewegung aus. Sie kommt am Ende des Bewegungsablaufes wieder an ihren Startpunkt des Bewegungszyklus zurück.

Die Gesamtbewegung der Brust wurde in dieser Arbeit in Annäherung an den dreidimensionalen Raum auf der x-, y- und z-Achse mit jeweils zwei Bewegungsrichtungen dargestellt. So schwingt die Brust in unterschiedlicher Ausprägung auf den verschiedenen Bewegungsachsen und lässt sich in ihren Einzelbewegungen gut darstellen.

Die vertikale Bewegung des aus den einzelnen Markern berechneten Brustmittelpunktes in der Weg-Zeit-Funktion (z-Achse) diente dabei als Vorlage zur Phasenmarkierung (siehe Diagramm 1). Dabei wurde die Ausführung von zwei Schritten (rechtes Bein/ linkes Bein) als eine Phase definiert und im Kurvenverlauf per Mausklick markiert. Die jeweiligen Phasen stellten die Basis für alle weiteren Berechnungen dar. Sie wurden per Mausklick in allen Videosequenzen markiert, der Mittelwert aus allen markierten Phasen pro Videosequenz wurde für die Auswertung aller gewünschten Parameter verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmelänge der einzelnen Trials (Aufnahmen) von ca. 20 bis 30 Sekunden ergab sich eine unterschiedliche Anzahl von Phasenmarkierungen.

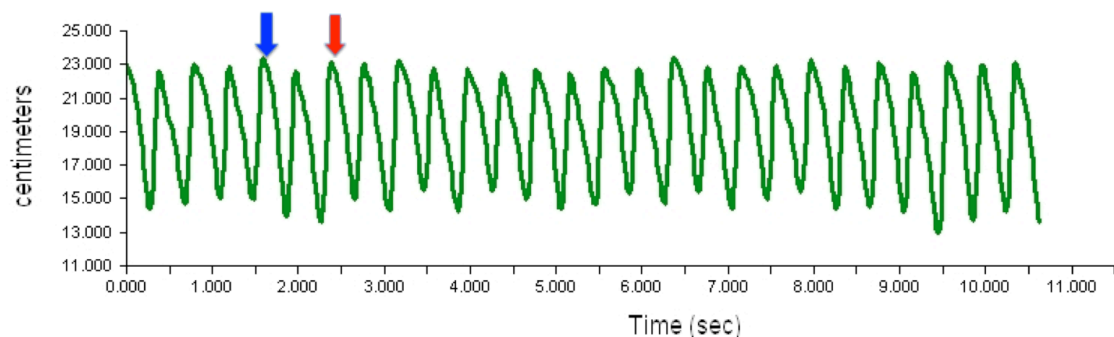


Diagramm 1: Weg-Zeit-Funktion des Brustmittelpunktes zur Klavikula (Referenzpunkt Thorax); der blaue Pfeil kennzeichnet den Beginn, der rote Pfeil das Ende einer Phase (Bewegungszyklus mit zwei Schritten)

### 2.6.3 Berechnung von Wegen, Kraft und Drehmoment

Die Brust bewegt sich in einem mehrdimensionalen Bewegungsmuster, das sich aus Haupt- und Partialbewegungen zusammensetzt. Zur Erfassung der relevanten Bewegung wurden Algorithmen herangezogen, welche für die Beschreibung von Bewegungen des menschlichen Körpers entwickelt wurden und von der Sporthochschule für Bewegungserfassungen in gleicher Weise genutzt werden. Die Algorithmen basieren auf Anwendung von Matlab®.

Als Näherung gilt:

- Geschwindigkeit = Weg/ Zeit

$$v = s/t \text{ (m/s)}$$

Es erfolgte die Berechnung der Geschwindigkeit der einzelnen Marker sowie die Bewegung des (aus diesen errechneten) Brustmittelpunktes gegenüber dem Referenzpunkt an der Klavikula. Damit wurde sowohl die Änderung der Strecke zwischen den einzelnen Brustmarkern als auch die Änderung der Strecke zwischen dem Brustmittelpunkt und dem Referenzpunkt Klavikula berechnet (siehe auch Diagramm 1: Weg-Zeit-Funktion).

Des weiteren wurde das Bewegungsausmaß (Range of Motion) des Brustmittelpunktes, also der Weg als absolute Distanzänderung den der Brustmittelpunkt gegenüber dem Referenzpunkt Klavikula zurücklegt, auf der x-, y- und z-Achse berechnet.

- Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung/ Zeiteinheit

$$a = \Delta v / \Delta t \text{ (m/s}^2\text{)}$$

- Kraft = Masse x Beschleunigung

$$F = m \cdot a \text{ (N)}$$

- Drehmoment = Kraft x Hebelarm

$$M = F \cdot r \text{ (Nm)}$$

Zur Berechnung von Kraft und Drehmoment erfolgte eine Auswertung der Beschleunigung. Weiter wurde für Kraft und Drehmoment das präoperativ mit der archimedischen Wasserverdrängungsmethode gemessene Brustgewicht und das daraus berechnete postoperative Brustgewicht miteinbezogen (siehe Tabelle 1).

Für die Kraft wurde auf der x-, y- und z-Achse jeweils in zwei Bewegungsrichtungen ein maximaler Wert sowie ein Mittelwert bestimmt, zudem wurde die resultierende Kraft aus allen drei Achsen jeweils in zwei Bewegungsrichtungen mit Maximum und Mittelwert berechnet.

Für das Drehmoment wurde ebenfalls auf der x-, y- und z-Achse jeweils in zwei Bewegungsrichtungen ein maximaler Wert sowie ein Mittelwert bestimmt.

#### 2.6.4 Statistische Auswertung

Die Studie wurde angelegt mit dem Ziel, eine Methode zur Darstellung und Objektivierung der biomechanischen Effekte der Mammahypertrophie zu entwickeln und zu demonstrieren. Die Fallzahl war nicht darauf ausgerichtet statistische Aussagen zu treffen. Aufgrund der Patientinnen-Anzahl  $n=7$  wurde daher auf eine statistische Auswertung verzichtet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Auswahl der Ergebnisse

##### 3.1.1 Unterschiedliche Bewegungsausprägungen

Im Prozess der Datenauswertung hat sich gezeigt, dass die Brust bei Bewegung einen typischen Verlauf hat und dass einige Bewegungsrichtungen in ihrem Ausmaß überwiegen. So schwingt die Brust in einer wie oben genannt aus zwei Laufschritten auf dem Laufband definierten Bewegungsphase achtförmig und zeigt dabei eine besondere Ausprägung der mediolateralen Bewegung (siehe Abbildung 11).

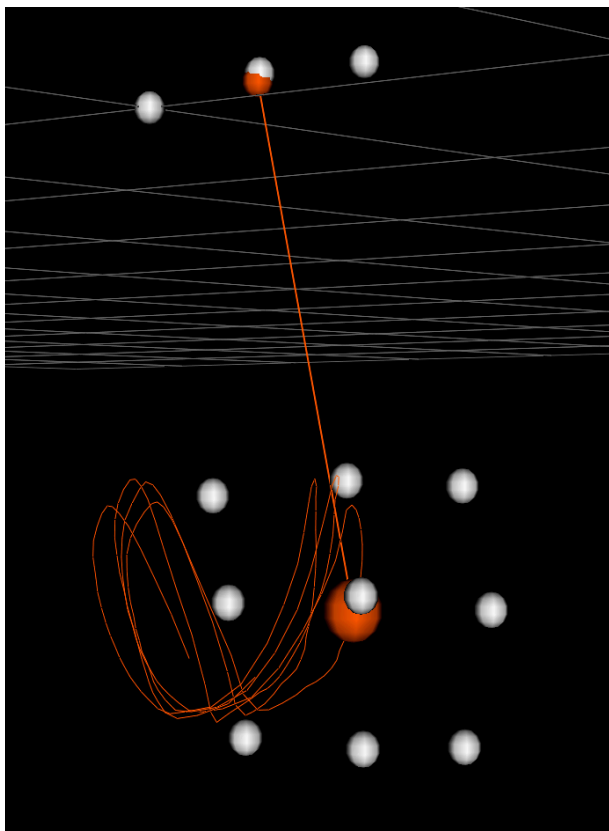


Abbildung 11: Darstellung der Trajektorie des errechneten Brustmittelpunktes: Die Brust von Patientin 1 macht eine 8-förmige Pendelbewegung während zwei Laufschritten

In diesem Zusammenhang wurde aus den oben genannten Berechnungen und Ergebnissen eine Selektion mit besonderem Augenmerk auf die mediolaterale und kraniokaudale Bewegungsachse, jedoch unter Berücksichtigung der anderen Bewegungsrichtungen, zur Vorstellung im Ergebnis-Teil dieser Arbeit vorgenommen.

### 3.1.2 Selektion der Trials

Von den o.g. durchgeführten Trials wurden zur Auswertung die Geschwindigkeiten

- 1,2 m/s (= 4,3 km/h) gehend ohne BH
- 1,8 m/s (= 6,5 km/h) joggend ohne BH

jeweils in der prä- und postoperativen Versuchsdurchführung ausgewählt zur Betrachtung des Bewegungsausmaßes der Brust und zur Darstellung von Kraft und Drehmoment.

Des weiteren wurden die Trials

- 1,8 m/s joggend mit BH präoperativ
- 1,8 m/s joggend ohne BH präoperativ und postoperativ

zur Untersuchung des Effektes eines BHs bei Mammahypertrophie versus operative Therapie ausgewählt.

Die ausgewählten Geh- und Laufgeschwindigkeiten wurden gewählt, um sowohl ruhige alltägliche Bewegung als auch stärkere Kurzeit-Belastungen mit schnelleren Bewegungen darzustellen. Aufgrund der großen produzierten Datenmenge wurde bewusst auf die Darstellung der Ergebnisse aller Untersuchungsbedingungen verzichtet, statt dessen wurde eine Auswahl alltagsrepräsentativer Bewegungsgeschwindigkeiten getroffen.

Die im Anhang als Datensammlung dargestellten Trials wurden nach der Systematik Patientin, Messzeitpunkt, Messanordnung bezeichnet.

Beispiel: P1\_prae1.8\_j\_bh bedeutet: Patientin 1, präoperative Aufnahme, Geschwindigkeit 1,8 m/s joggend, mit BH.

### 3.1.3 Berücksichtigung der Erdbeschleunigung

Die Gewichtskraft der Brust setzt sich zusammen aus dem Brustgewicht und der Erdbeschleunigung (siehe Tabelle 2):

$$\text{Brustgewicht (kg)} \times \text{Erdbeschleunigung (g = 9,81 m/s}^2\text{)} = \text{Gewichtskraft der Brust (N)}$$

Die Gewichtskraft wirkt beim Stehen und auf der vertikalen Achse bei bewegender Brust. Das in der Auswertung an der Klavikula angesetzte dreidimensionale Achsen-System bewegt sich bei bewegendem Oberkörper ebenfalls im dreidimensionalen Raum und verliert somit auf der z-Achse teilweise den Bezug zur vertikalen Achse. Damit gilt die Erdbeschleunigung auf der z-Achse nicht an jedem Aufnahme-Zeitpunkt und kann nicht als konstanter Parameter in die Berechnungen mit einfließen. Um korrekte Ergebnisse zu präsentieren, wurde die Erdbeschleunigung in dieser Arbeit nicht in den Auswertungsvorgang aufgenommen, ist aber bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Tabelle 2: Gewichtskraft der rechten Mamma prä- und postoperativ, Patientinnen 1bis 7

Patientin	präoperative Gewichtskraft der rechten Mamma (N)	postoperative Gewichtskraft der rechten Mamma (N)	prozentuale Veränderung von prä- nach postoperativ
P1	14,7	8,3	- 43,5 %
P2	24,5	17,4	- 29,0 %
P3	9,8	5,3	- 45,9 %
P4	12,8	7	- 45,3 %
P5	15,7	10	- 36,3 %
P6	11,8	5,4	- 54,2 %
P7	14,7	8,3	- 43,5 %

### 3.2 Bewegungsausmaß der Brust gegenüber dem Thorax

Während einer Bewegungsphase legt die Brust in Bezug auf den Referenzpunkt Klavikula (welcher den Referenzkörper Thorax darstellt) im dreidimensionalen Raum

einen definierten Weg zurück. In der Bewegungsanalyse kann dieser zurückgelegte Weg über den aus den neun Markern errechneten Brustmittelpunkt dargestellt werden. Dabei bewegt sich der Brustmittelpunkt auf der x-, y- und z-Achse jeweils in zwei Richtungen. Die Pendelbewegung der Brust nach medial und lateral stellt sich auf der x-Achse dar, die Bewegung nach ventral und dorsal auf y-Achse und die Bewegung nach kranial und kaudal auf der z-Achse (siehe Abbildung 12).

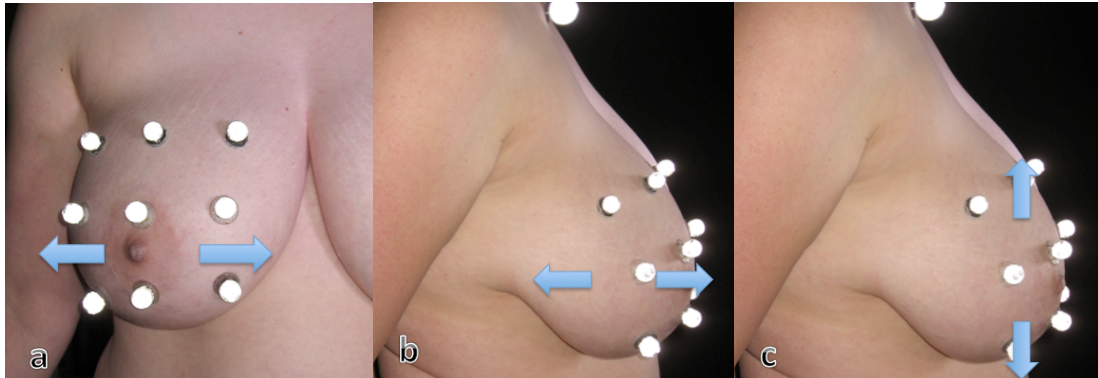


Abbildung 12: a. Bewegung der Brust nach medial und lateral auf der x-Achse b. Bewegung nach ventral und dorsal auf der y-Achse c. Bewegung nach kranial und kaudal auf der z-Achse

Das Bewegungsausmaß kann letztlich als absolute Distanzänderung über die Range of Motion (RoM) auf den drei Achsen dargestellt werden. Dabei werden die zwei Bewegungsrichtungen auf einer Achse zu einem insgesamt maximal zurückgelegten Weg zusammengefasst. Folgend sind die Ergebnisse für alle Patientinnen tabellarisch und in Diagrammen dargestellt (siehe Tabellen 3 bis 9 und Diagramme 2 bis 7).

Tabelle 3: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 1

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P1_prae_1.2_g	13,59	100	15,37	100	7,24	100
P1_post_1.2_g	6,51	47,9	11,60	75,5	4,68	64,6
P1_prae_1.8_j	27,01	100	39,28	100	70,93	100
P1_post_1.8_j	8,68	32,1	14,41	36,7	18,90	26,6



Tabelle 4: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 2

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P2_prae_1.2_g	54,33	100	37,00	100	16,49	100
P2_post_1.2_g	49,53	91,7	28,55	77,2	13,92	84,4
P2_prae_1.8_j	119,79	100	77,55	100	51,25	100
P2_post_1.8_j	61,17	51,1	49,76	64,2	40,77	79,6

Tabelle 5: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 3

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P3_prae_1.2_g	35,70	100	24,81	100	6,75	100
P3_post_1.2_g	10,00	28	10,47	42,2	4,90	72,6
P3_prae_1.8_j	101,51	100	50,92	100	49,12	100
P3_post_1.8_j	30,29	29,8	22,92	45	26,36	53,7

Tabelle 6: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 4

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P4_prae_1.2_g	36,88	100	24,14	100	13,17	100
P4_post_1.2_g	11,11	30,1	10,05	41,6	4,66	35,4
P4_prae_1.8_j	74,78	100	43,83	100	68,26	100
P4_post_1.8_j	30,24	40,4	34,95	79,7	53,83	78,9

Tabelle 7: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 5

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P5_prae_1.2_g	48,78	100	34,45	100	23,57	100
P5_post_1.2_g	16,45	33,7	13,68	39,7	6,35	26,9
P5_prae_1.8_j	74,15	100	72,44	100	57,22	100
P5_post_1.8_j	24,86	33,5	51,18	70,7	31,18	54,5

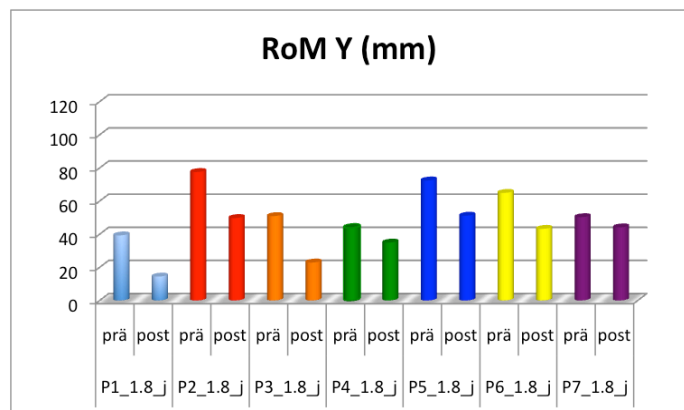
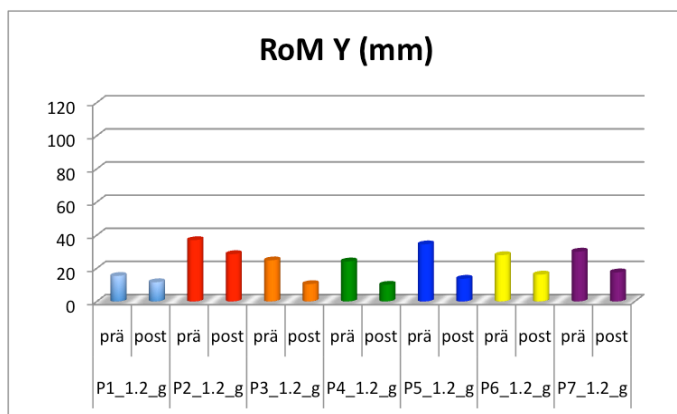
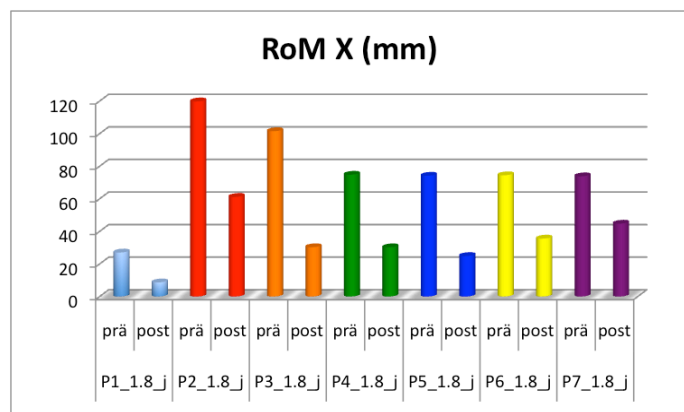
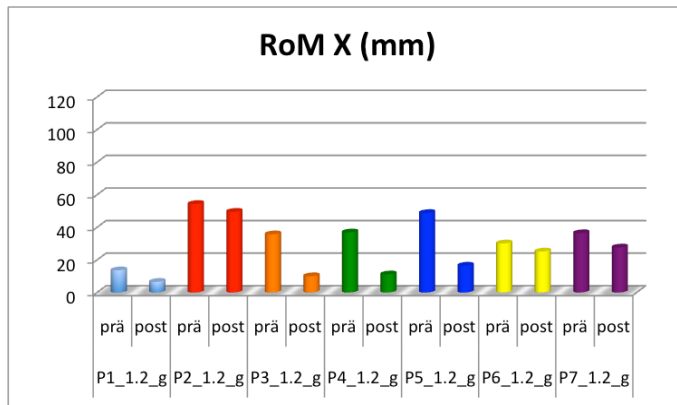
Tabelle 8: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 6

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P6_prae_1.2_g	30,11	100	27,93	100	17,02	100
P6_post_1.2_g	25,16	83,6	16,21	58	11,37	66,8
P6_prae_1.8_j	74,46	100	64,94	100	65,47	100
P6_post_1.8_j	35,57	47,8	43,24	66,6	29,77	45,5

Tabelle 9: Bewegungsausmaß RoM des Brustmittelpunktes gegenüber der Klavikula auf der x-, y-, und z-Achse, Patientin 7

Trial	RoM X (mm)	%	RoM Y (mm)	%	RoM Z (mm)	%
P7_prae_1.2_g	36,40	100	30,06	100	15,05	100
P7_post_1.2_g	27,64	75,9	17,54	58,3	12,49	83
P7_prae_1.8_j	73,82	100	50,29	100	45,43	100
P7_post_1.8_j	44,75	60,6	44,14	87,8	42,90	94,4

Diagramme 2 bis 7: Absolute Veränderung des Bewegungsausmaßes RoM von prä- nach postoperativ auf den jeweiligen Achsen, Patientinnen 1 bis 7



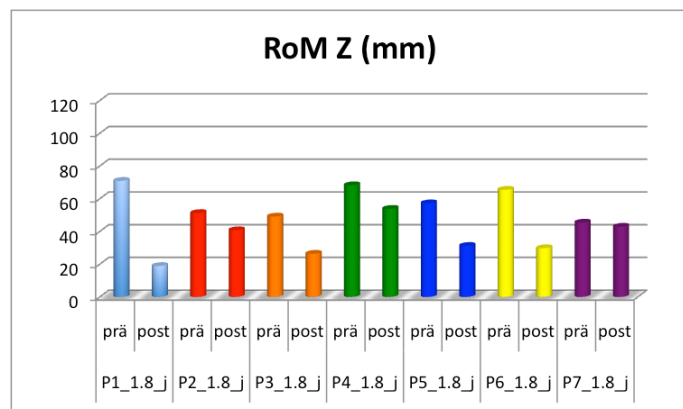
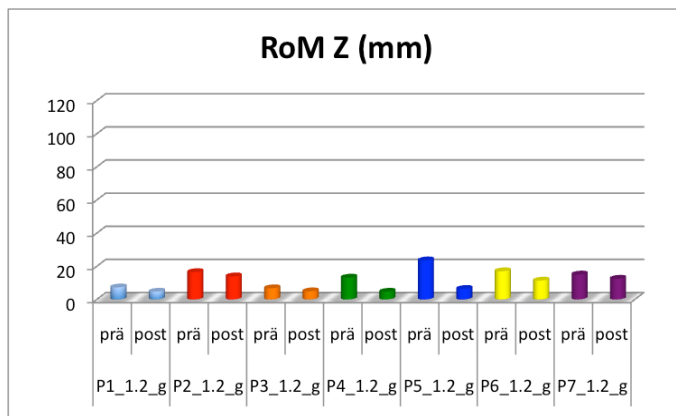


Tabelle 10: Prozentuale Veränderung des Bewegungsausmaßes RoM von prä- nach postoperativ auf den jeweiligen Achsen, Geschwindigkeit 1,2 m/s (gehend), Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung RoM X (1,2 m/s)	Veränderung RoM Y (1,2 m/s)	Veränderung RoM Z (1,2 m/s)
P1	- 52,1 %	- 24,5 %	- 35,4 %
P2	- 8,3 %	- 22,8 %	- 15,6 %
P3	- 72 %	- 57,8 %	- 27,4 %
P4	- 69,9 %	- 58,4 %	- 64,6 %
P5	- 66,3 %	- 60,3 %	- 73,1 %
P6	- 16,4 %	- 42 %	- 33,2 %
P7	- 24,1 %	- 41,7 %	- 17 %
Mittelwert	- 44,2 %	- 43,9 %	- 38 %

Diagramm 8: Prozentuale Veränderung des durchschnittlichen Bewegungsausmaßes RoM von prä- nach postoperativ auf der x-, y- und z-Achse, Geschwindigkeit 1,2 m/s (gehend), Patientinnen 1 bis 7

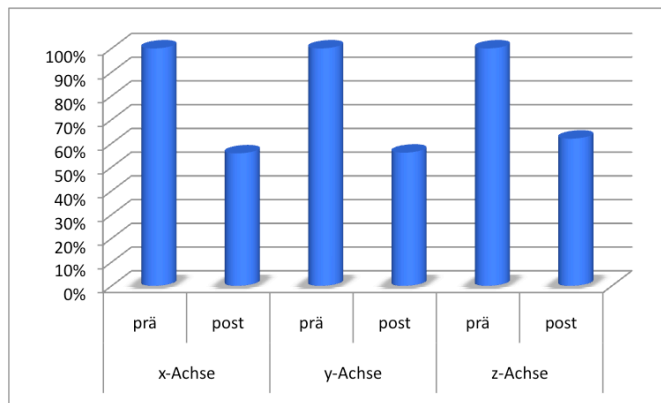


Tabelle 11: Prozentuale Veränderung des Bewegungsausmaßes RoM von prä- nach postoperativ auf den jeweiligen Achsen, Geschwindigkeit 1,8 m/s (joggend), Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung Rom X (1,8 m/s)	Veränderung RoM Y (1,8 m/s)	Veränderung RoM Z (1,8 m/s)
P1	- 67,9 %	- 63,3 %	- 73,4 %
P2	- 48,9 %	- 35,8 %	- 20,4 %
P3	- 70,2 %	- 55 %	- 46,3 %
P4	- 59,6 %	- 20,3 %	- 21,1 %
P5	- 66,5 %	- 29,3 %	- 45,5 %
P6	- 52,2 %	- 33,4 %	- 54,5 %
P7	- 39,4 %	- 12,2 %	- 5,6 %
Mittelwert	- 57,8 %	- 35,6 %	- 38,1 %

Diagramm 9: Prozentuale Veränderung des durchschnittlichen Bewegungsausmaßes RoM von prä- nach postoperativ auf der x-, y- und z-Achse, Geschwindigkeit 1,8 m/s (joggend), Patientinnen 1 bis 7



Bei der Betrachtung des Bewegungsausmaßes zeigt sich beim Vergleich der Geschwindigkeit 1,2 gehend auf der x-Achse von prä- nach postoperativ eine durchschnittliche Verminderung der Strecke, die der Brustmittelpunkt in einer Bewegungsphase zurücklegt, um 44,2 %. Auf der y-Achse zeigt sich eine Verminderung von 43,9 % und auf der z-Achse eine Verminderung von 38 % (siehe Tabelle 10 und Diagramm 8).

Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche Verminderung von prä- nach postoperativ auf allen drei Achsen von 42 %.

Dieselbe Berechnung bei der Geschwindigkeit 1,8 joggend ergibt eine Distanzverminderung von 57,8 % auf der x-Achse, 35,6 % auf der y-Achse und auf der z-Achse 38,1 % (siehe Tabelle 11 und Diagramm 9).

Im Durchschnitt ist das auf allen drei Achsen eine Verminderung um 43,8 %.

### 3.3 Kraft

Die Kraft, mit welcher die Brust in einem Bewegungszyklus auf den Halteapparat wirkt, konnte auf drei Achsen mit sechs verschiedenen Wirkrichtungen dargestellt werden (x-Achse nach lateral/ medial, y-Achse nach ventral/ dorsal und z-Achse nach

kranial/ kaudal) (siehe Abbildung 11). Die Berechnung der wirkenden Kräfte erfolgte wiederum über den Referenzpunkt Klavikula sowie den errechneten Brustmittelpunkt. Zur weiteren Auswertung wurde die Kraft, welche die Brust in ihrer Pendelbewegung maximal nach lateral und medial ( $F_{\text{lateral}}$ ,  $F_{\text{medial}}$ ), sowie nach kranial und kaudal ( $F_{\text{kranial}}$ ,  $F_{\text{kaudal}}$ ) ausübt, gewählt. Weiter wurde die resultierende maximale Kraft aus allen drei Achsen errechnet ( $F_{\text{r(max)}}$ ) sowie die mittlere resultierende Kraft dargestellt (siehe Tabellen 12 bis 18 und Diagramme 10 bis 21).

Tabelle 12: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 1

Trial	$F_{\text{lateral}}$ (N)	%	$F_{\text{medial}}$ (N)	%	$F_{\text{kranial}}$ (N)	%
P1_prae_1.2_g_ob	3,04	100	3,94	100	2,40	100
P1_post_1.2_g_ob	1,97	64,8	3,48	88,3	1,07	44,6
P1_prae_1.8_j_ob	20,60	100	26,17	100	41,54	100
P1_post_1.8_j_ob	4,25	20,6	4,35	16,6	6,14	14,8

Trial	$F_{\text{kaudal}}$ (N)	%	$F_{\text{r(max)}}$ (N)	%	mittlere $F_{\text{r}}$ (N)	%
P1_prae_1.2_g_ob	2,28	100	2,19	100	1,01	100
P1_post_1.2_g_ob	1,39	61	1,05	48	0,44	43,6
P1_prae_1.8_j_ob	36,08	100	23,22	100	10,80	100
P1_post_1.8_j_ob	6,73	18,7	5,46	23,5	1,49	13,8

Tabelle 13: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 2

Trial	$F_{\text{lateral}}$ (N)	%	$F_{\text{medial}}$ (N)	%	$F_{\text{kranial}}$ (N)	%
P2_prae_1.2_g_ob	26,22	100	39,95	100	11,14	100
P2_post_1.2_g_ob	4,95	18,9	3,24	8,1	2,61	23,4
P2_prae_1.8_j_ob	63,67	100	51,17	100	26,52	100
P2_post_1.8_j_ob	20,69	32,5	14,28	27,9	7,09	26,7

Trial	$F_{\text{kaudal}}$ (N)	%	$F_{\text{r(max)}}$ (N)	%	mittlere $F_{\text{r}}$ (N)	%
P2_prae_1.2_g_ob	9,00	100	8,54	100	2,04	100
P2_post_1.2_g_ob	1,92	21,3	1,67	19,6	0,76	37,3
P2_prae_1.8_j_ob	33,36	100	19,09	100	6,44	100
P2_post_1.8_j_ob	9,08	27,2	7,49	39,2	2,56	39,8

Tabelle 14: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 3

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>kranial</sub> (N)	%
P3_prae_1.2_g_ob	5,20	100	5,21	100	1,00	100
P3_post_1.2_g_ob	1,08	20,8	1,11	21,3	0,79	79
P3_prae_1.8_j_ob	21,29	100	32,20	100	15,48	100
P3_post_1.8_j_ob	7,41	34,8	7,49	23,3	5,00	32,3

Trial	F <sub>kaudal</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r</sub> (N)	%
P3_prae_1.2_g_ob	1,95	100	1,22	100	0,46	100
P3_post_1.2_g_ob	0,63	32,3	0,74	60,7	0,29	63
P3_prae_1.8_j_ob	23,28	100	10,40	100	4,16	100
P3_post_1.8_j_ob	5,05	21,7	4,14	39,8	1,45	34,9

Tabelle 15: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 4

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>kranial</sub> (N)	%
P4_prae_1.2_g_ob	11,99	100	7,99	100	2,70	100
P4_post_1.2_g_ob	2,97	24,7	2,01	25,2	1,23	45,6
P4_prae_1.8_j_ob	52,83	100	34,83	100	14,42	100
P4_post_1.8_j_ob	14,82	28,1	12,82	36,8	14,25	98,8

Trial	F <sub>kaudal</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P4_prae_1.2_g_ob	2,13	100	2,00	100	0,83	100
P4_post_1.2_g_ob	0,80	37,6	0,79	39,5	0,27	32,5
P4_prae_1.8_j_ob	35,80	100	13,40	100	6,72	100
P4_post_1.8_j_ob	11,07	30,9	9,93	74,1	3,20	47,6



Tabelle 16: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 5

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>kranial</sub> (N)	%
P5_prae_1.2_g_ob	15,62	100	12,84	100	5,04	100
P5_post_1.2_g_ob	1,15	7,4	1,00	7,8	0,55	10,9
P5_prae_1.8_j_ob	23,79	100	21,22	100	23,52	100
P5_post_1.8_j_ob	12,79	53,8	13,28	62,6	6,43	27,3

Trial	F <sub>kaudal</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r</sub> (N)	%
P5_prae_1.2_g_ob	5,06	100	6,06	100	1,88	100
P5_post_1.2_g_ob	0,76	15	0,41	6,8	0,17	9
P5_prae_1.8_j_ob	21,77	100	22,61	100	6,15	100
P5_post_1.8_j_ob	15,71	72,2	12,36	54,7	4,10	66,7

Tabelle 17: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 6

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>kranial</sub> (N)	%
P6_prae_1.2_g_ob	7,36	100	6,69	100	2,56	100
P6_post_1.2_g_ob	2,38	38,5	2,53	37,8	1,45	56,6
P6_prae_1.8_j_ob	37,10	100	25,76	100	22,84	100
P6_post_1.8_j_ob	8,72	23,5	7,43	28,8	4,27	18,7

Trial	F <sub>kaudal</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r</sub> (N)	%
P6_prae_1.2_g_ob	4,21	100	2,21	100	1,08	100
P6_post_1.2_g_ob	2,06	48,9	1,32	59,7	0,49	45,4
P6_prae_1.8_j_ob	26,43	100	20,78	100	6,25	100
P6_post_1.8_j_ob	7,17	27,1	6,67	32,1	1,78	28,5

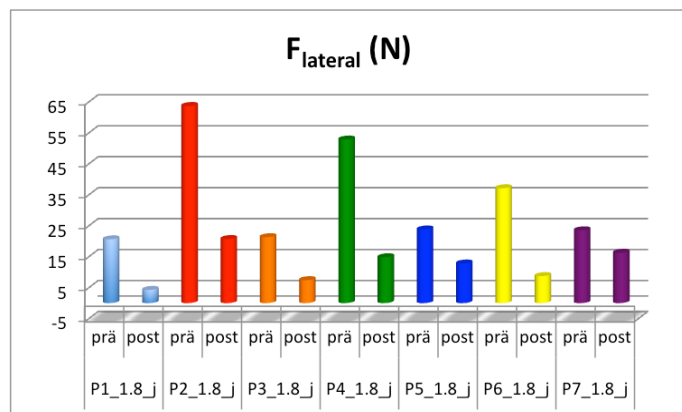
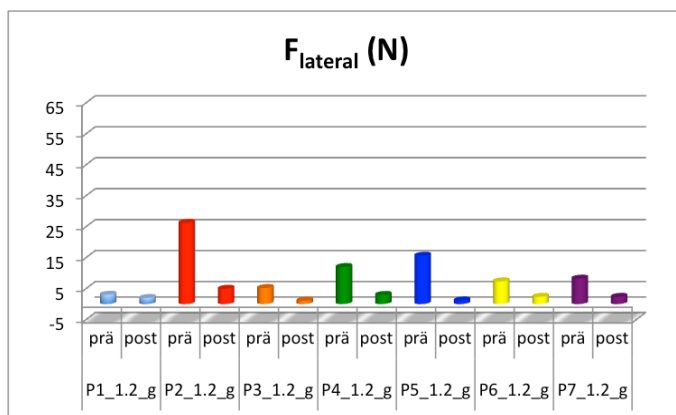
Tabelle 18: Maximale Kraft F Wirkrichtung lateral und medial, kranial und kaudal, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, Patientin 7

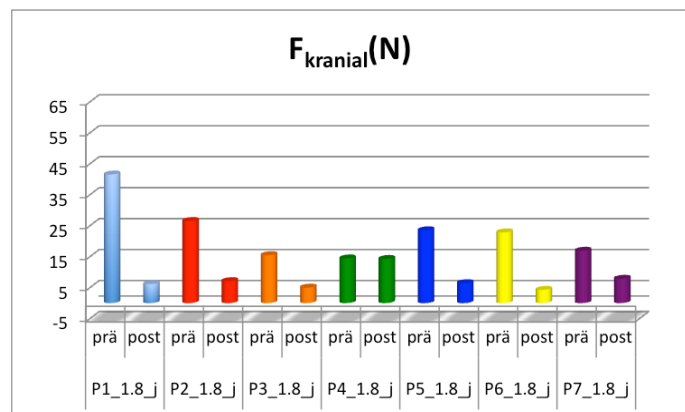
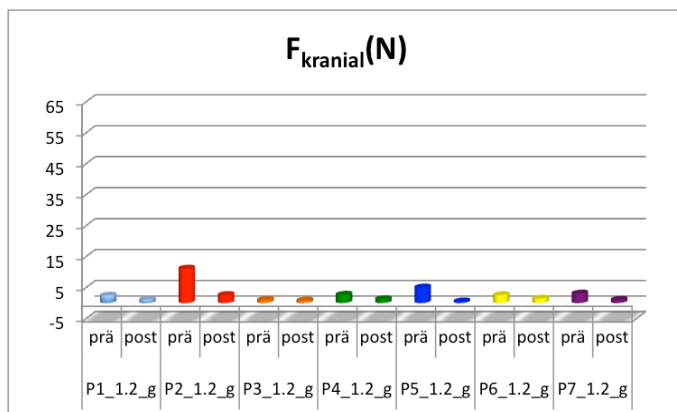
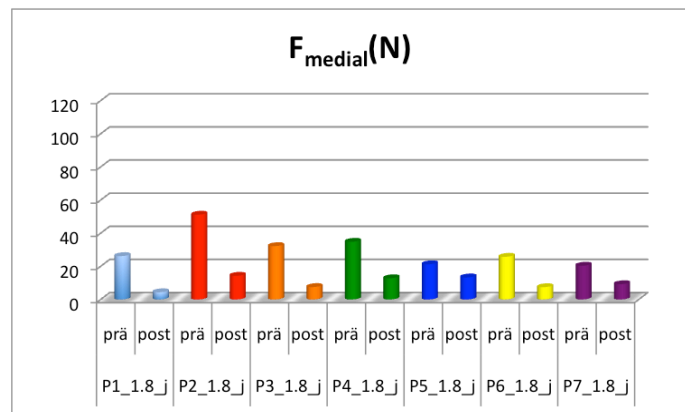
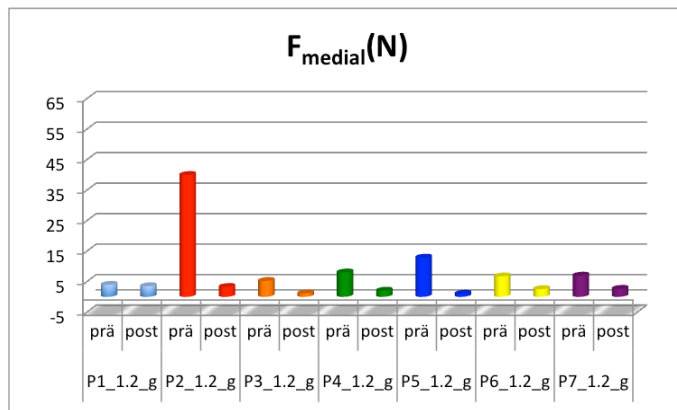
Trial	$F_{\text{lateral}}$ (N)	%	$F_{\text{medial}}$ (N)	%	$F_{\text{kranial}}$ (N)	%
P7_prae_1.2_g_ob	8,23	100	6,96	100	3,08	100
P7_post_1.2_g_ob	2,36	28,7	2,63	37,8	1,06	34,4
P7_prae_1.8_j_ob	23,52	100	20,36	100	16,91	100
P7_post_1.8_j_ob	16,25	69,1	9,23	45,3	7,85	46,4

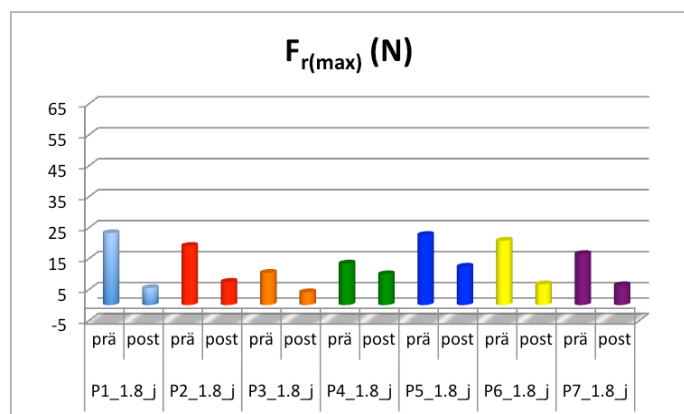
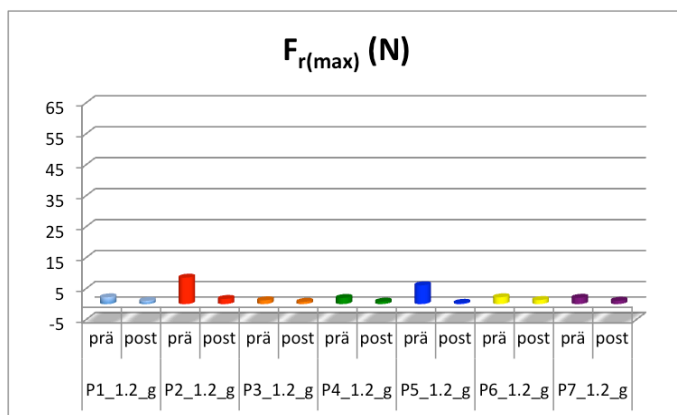
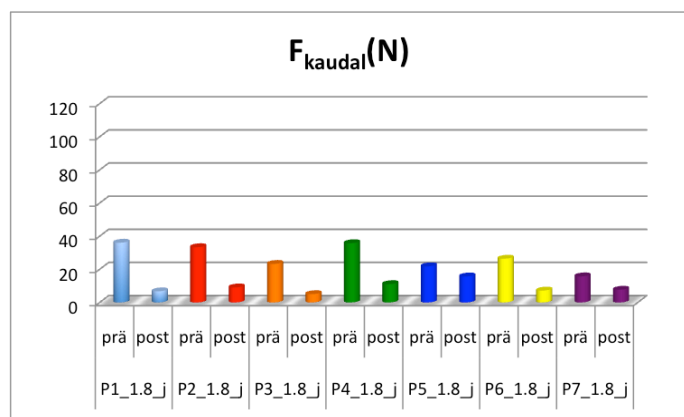
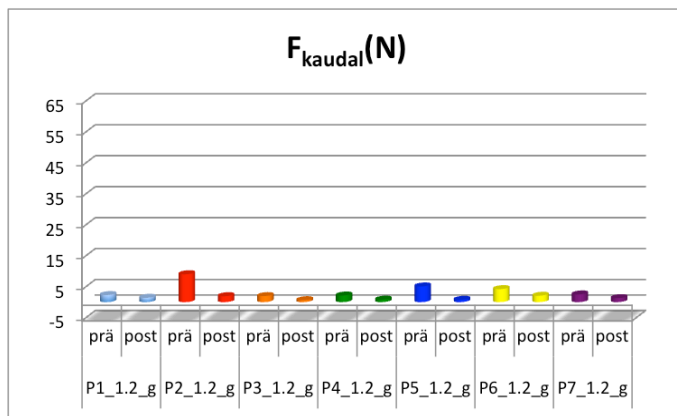
  

Trial	$F_{\text{kaudal}}$ (N)	%	$F_{r(\text{max})}$ (N)	%	mittlere $F_r$ (N)	%
P7_prae_1.2_g_ob	2,48	100	2,04	100	0,81	100
P7_post_1.2_g_ob	1,28	51,6	1,08	52,9	0,48	59,3
P7_prae_1.8_j_ob	15,75	100	16,46	100	5,27	100
P7_post_1.8_j_ob	7,67	48,7	6,39	38,8	2,18	41,4

Diagramme 10 bis 21: Absolute Veränderung der maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ auf den jeweiligen Achsen, Patientinnen 1 bis 7







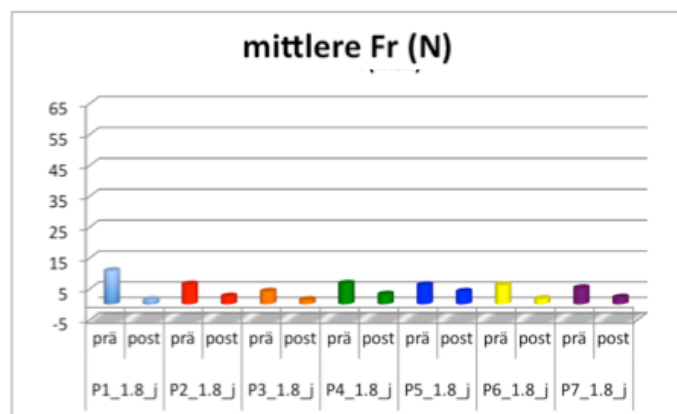
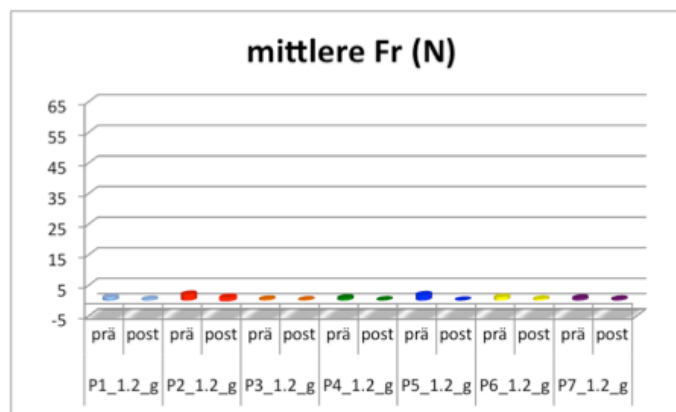


Tabelle 19: Vergleich der prozentualen Veränderung der nach lateral wirkenden maximalen Kraft  $F$  von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $F_{\text{lateral}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $F_{\text{lateral}}$ (1,8 joggend)
P1	- 35,2 %	- 79,4 %
P2	- 81,1 %	- 67,5 %
P3	- 79,2 %	- 65,2 %
P4	- 75,3 %	- 71,9 %
P5	- 92,6 %	- 46,2 %
P6	- 61,5 %	- 76,5 %
P7	- 71,3 %	- 30,9 %
Mittelwert	- 70,9 %	- 62,5 %

Diagramm 22: Prozentuale Veränderung der durchschnittlichen nach lateral wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

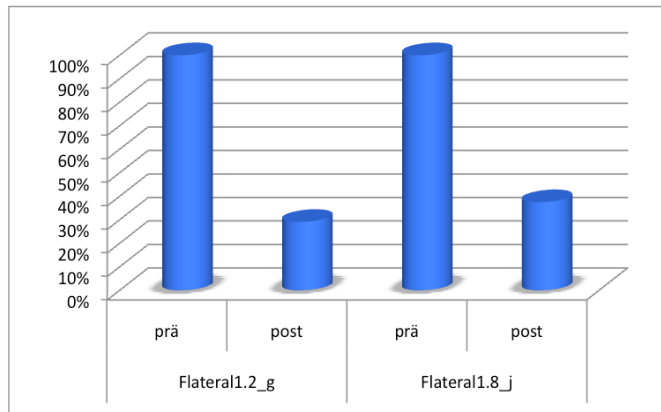


Tabelle 20: Vergleich der prozentualen Veränderung der nach medial wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $F_{\text{medial}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $F_{\text{medial}}$ (1,8 joggend)
P1	- 11,7 %	- 83,4 %
P2	- 91,9 %	- 72,1 %
P3	- 78,7 %	- 76,7 %
P4	- 74,8 %	- 63,2 %
P5	- 92,2 %	- 37,4 %
P6	- 62,2 %	- 71,2 %
P7	- 62,2 %	- 54,7 %
Mittelwert	- 67,7 %	- 65,5 %

Diagramm 23: Prozentuale Veränderung der durchschnittlichen nach medial wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

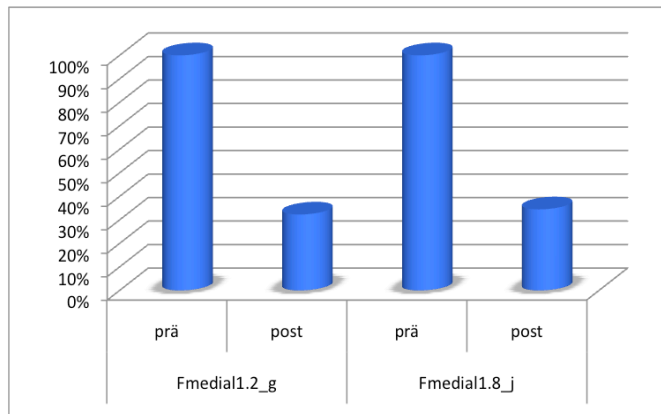


Tabelle 21: Vergleich der prozentualen Veränderung der nach kranial wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $F_{\text{kranial}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $F_{\text{kranial}}$ (1,8 joggend)
P1	- 55,4 %	- 85,2 %
P2	- 76,6 %	- 73,3 %
P3	- 21 %	- 67,7 %
P4	- 54,4 %	- 1,2 %
P5	- 89,1 %	- 72,7 %
P6	- 43,4 %	- 81,3 %
P7	- 65,6 %	- 53,6 %
Mittelwert	- 57,9 %	- 62,1 %

Diagramm 24: Prozentuale Veränderung der durchschnittlichen nach kranial wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

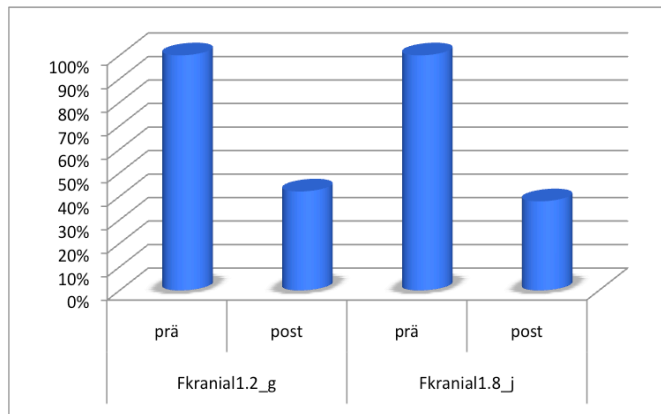


Tabelle 22: Vergleich der prozentualen Veränderung der nach kaudal wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $F_{\text{kaudal}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $F_{\text{kaudal}}$ (1,8 joggend)
P1	- 39 %	- 81,3 %
P2	- 78,7 %	- 72,8 %
P3	- 67,7 %	- 78,3 %
P4	- 62,4 %	- 69,1 %
P5	- 85 %	- 27,8 %
P6	- 51,1 %	- 72,9 %
P7	- 48,4 %	- 51,3 %
Mittelwert	- 61,8 %	- 64,9 %



Diagramm 25: Prozentuale Veränderung der durchschnittlichen nach kaudal wirkenden maximalen Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

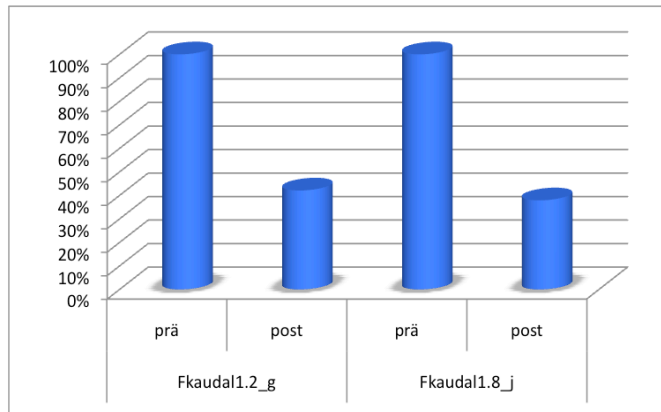


Tabelle 23: Vergleich der prozentualen Veränderung der maximalen resultierenden Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $F_{r(max)}$ (1,2 gehend)	Veränderung $F_{r(max)}$ (1,8 joggend)
P1	- 52 %	- 76,5 %
P2	- 80,4 %	- 60,8 %
P3	-39,3 %	- 60,2 %
P4	- 60,5 %	- 25,9 %
P5	-93,2 %	-45,3 %
P6	- 40,3 %	- 67,9 %
P7	- 47,1 %	- 61,2 %
Mittelwert	- 59 %	- 56,8 %

Diagramm 26: Prozentuale Veränderung der durchschnittlichen maximalen resultierenden Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

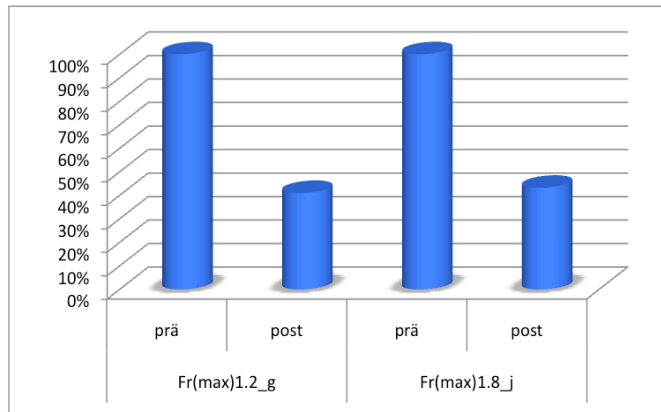
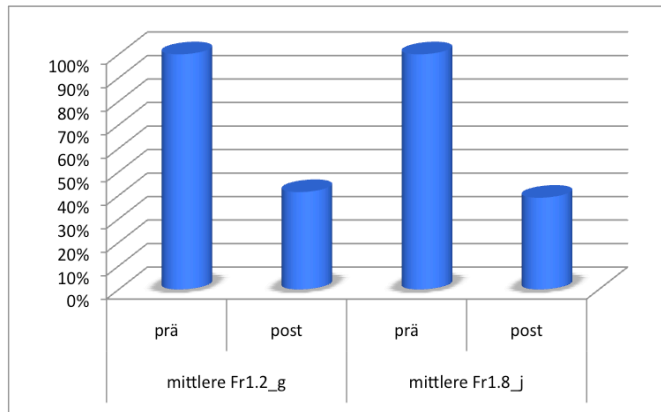


Tabelle 24: Vergleich der prozentualen Veränderung der mittleren resultierenden Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung mittlere $F_r$ (1,2 gehend)	Veränderung mittlere $F_r$ (1,8 joggend)
P1	- 56,4 %	- 86,2 %
P2	- 62,7 %	- 60,2 %
P3	- 37 %	- 65,1 %
P4	- 67,5 %	- 52,4 %
P5	- 91 %	- 33,3 %
P6	- 54,6 %	- 71,5 %
P7	- 40,7 %	- 58,6 %
Mittelwert	- 58,6 %	- 61 %

Diagramm 27: Prozentuale Veränderung der durchschnittlichen mittleren resultierenden Kraft F von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7



Die bei der Pendelbewegung der Brust maximal nach lateral wirkende Kraft aller Patientinnen wird bei Gehgeschwindigkeit von prä- nach postoperativ im Durchschnitt um 70,9 % reduziert, die nach medial wirkende Kraft um 67,7 %, nach kranial um 57,9 % und nach kaudal um 61,8 % (siehe Tabellen 19 bis 22 und Diagramme 22 bis 25). Bei der joggenden Patientin reduziert sich die Kraft durchschnittlich um 62,5 % nach lateral, um 65,5 % nach medial, um 62,1 % nach kranial und um 64,9 % nach kaudal (siehe Tabellen 19 bis 22 und Diagramme 22 bis 25).

Die aus allen 3 Bewegungsrichtungen maximale resultierende Kraft reduziert sich beim Gehen um 59 %, die mittlere resultierende Kraft um 58,6 % (siehe Tabellen 23 bis 24 und Diagramme 26 bis 27). Joggend zeigt sich eine Reduktion der maximalen resultierenden Kraft von prä- nach postoperativ um 56,8 % und eine Reduktion der mittleren resultierenden Kraft um 61 % (siehe Tabellen 23 bis 24 und Diagramme 26 bis 27).

### 3.4 Drehmoment

Die Erfassung des Drehmoments diente zur Darstellung der inneren Brustbewegung. Wie bei der Auswertung der Kraft konnte auch das Drehmoment um drei Achsen mit sechs verschiedenen Wirkrichtungen dargestellt werden. Das Drehmoment wirkt auf

drei Ebenen: um die x-Achse schwingt das gemessene Objekt nach kranial/ kaudal, um die y-Achse nach medial/ lateral und um die z-Achse nach ventral/ dorsal. Ausführlicher betrachtet wird hier zum einen das maximale Drehmoment um die y-Achse, die Ebene in der die Brust in ihrer Pendelbewegung zu den Seiten schwingt. Zum anderen ist das maximale Drehmoment um die x-Achse dargestellt, auf dieser Ebene schwingt die Mamma nach kopf- und fusswärts (siehe Tabellen 25 bis 31 und Diagramme 28 bis 35).

Tabelle 25: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 1

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P1_prae_1.2_g_ob	0,82	100	0,69	100	0,81	100	0,89	100
P1_post_1.2_g_ob	0,57	69,5	0,36	52,2	0,34	42	0,33	37,1
P1_prae_1,8_j_ob	3,43	100	3,22	100	10,61	100	5,95	100
P1_post_1.8_j_ob	0,41	12	0,69	21,4	0,90	8,5	0,80	13,5

Tabelle 26: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 2

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P2_prae_1.2_g_ob	12,68	100	8,10	100	5,52	100	5,28	100
P2_post_1.2_g_ob	0,68	5,4	1,19	14,7	0,55	10	0,58	11
P2_prae_1,8_j_ob	16,77	100	21,20	100	11,49	100	12,89	100
P2_post_1.8_j_ob	2,59	15,4	3,89	18,4	2,16	18,8	1,76	13,7

Tabelle 27: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 3

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P3_prae_1.2_g_ob	1,30	100	1,29	100	0,81	100	0,90	100
P3_post_1.2_g_ob	0,19	14,6	0,19	14,7	0,14	17,3	0,23	25,6
P3_prae_1,8_j_ob	7,54	100	4,87	100	4,68	100	4,36	100
P3_post_1.8_j_ob	1,03	13,6	0,99	20,3	0,88	18,8	1,03	23,6

Tabelle 28: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 4

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P4_prae_1.2_g_ob	3,13	100	2,17	100	1,12	100	1,02	100
P4_post_1.2_g_ob	0,43	13,7	0,62	28,6	0,20	17,9	0,24	23,5
P4_prae_1,8_j_ob	14,23	100	8,66	100	3,85	100	11,83	100
P4_post_1.8_j_ob	2,56	18	2,62	30,3	2,18	56,6	1,42	12

Tabelle 29: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 5

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P5_prae_1.2_g_ob	4,38	100	5,12	100	3,27	100	3,70	100
P5_post_1.2_g_ob	0,23	5,3	0,26	5,1	0,19	5,8	0,22	5,9
P5_prae_1,8_j_ob	7,63	100	5,63	100	6,55	100	7,81	100
P5_post_1.8_j_ob	2,77	36,3	3,22	57,2	5,55	84,7	4,68	59,9

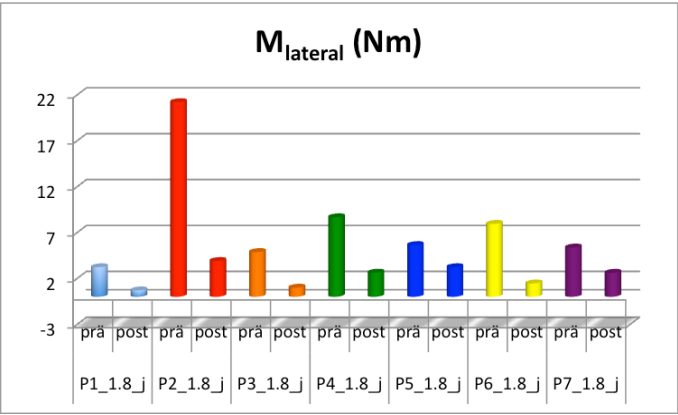
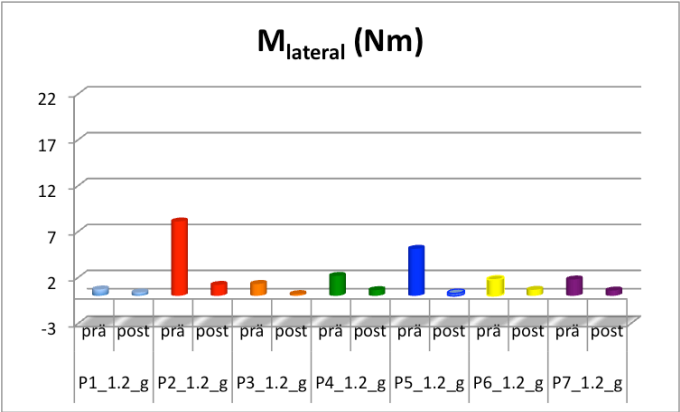
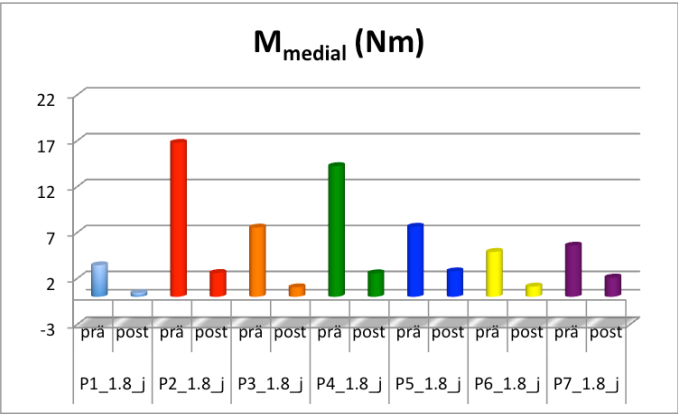
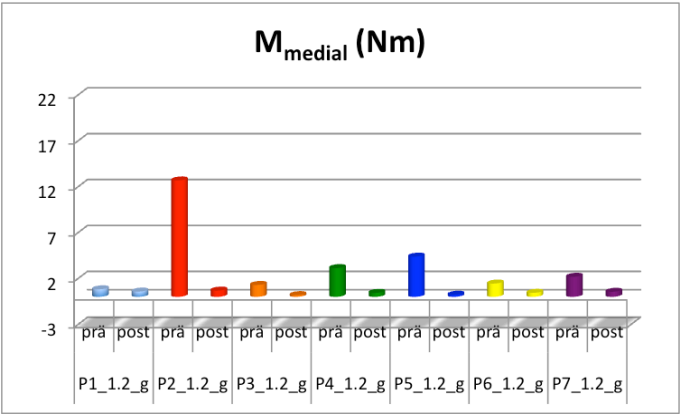
Tabelle 30: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 6

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P6_prae_1.2_g_ob	1,45	100	1,74	100	0,79	100	0,81	100
P6_post_1.2_g_ob	0,44	30,3	0,65	37,4	0,27	34,2	0,31	38,3
P6_prae_1,8_j_ob	4,89	100	7,94	100	5,71	100	4,31	100
P6_post_1.8_j_ob	1,11	22,7	1,45	18,3	1,29	22,6	0,84	19,5

Tabelle 31: Maximales Drehmoment M Wirkrichtung medial, lateral, kranial und kaudal, Patientin 7

Trial	M <sub>medial</sub> (Nm)	%	M <sub>lateral</sub> (Nm)	%	M <sub>kranial</sub> (Nm)	%	M <sub>kaudal</sub> (Nm)	%
P7_prae_1.2_g_ob	2,18	100	1,78	100	1,15	100	1,41	100
P7_post_1.2_g_ob	0,55	25,2	0,58	32,6	0,28	24,4	0,31	22
P7_prae_1,8_j_ob	5,57	100	5,36	100	5,21	100	5,98	100
P7_post_1.8_j_ob	2,09	37,5	2,61	48,7	1,96	37,6	1,39	23,2

Diagramme 28 bis 35: Absolute Veränderung des maximalen Drehmoments M von prä- nach postoperativ auf den jeweiligen Achsen, Patientinnen 1 bis 7



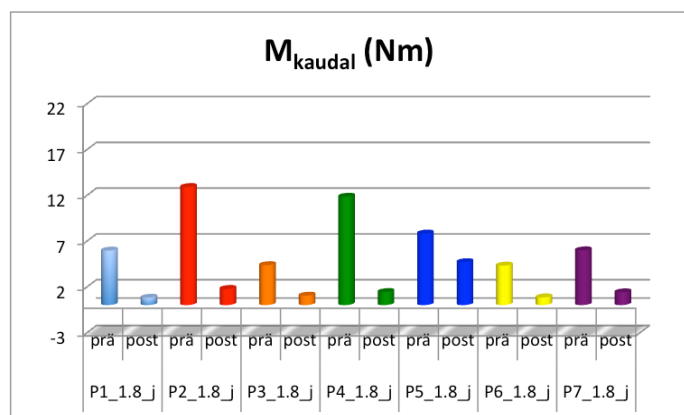
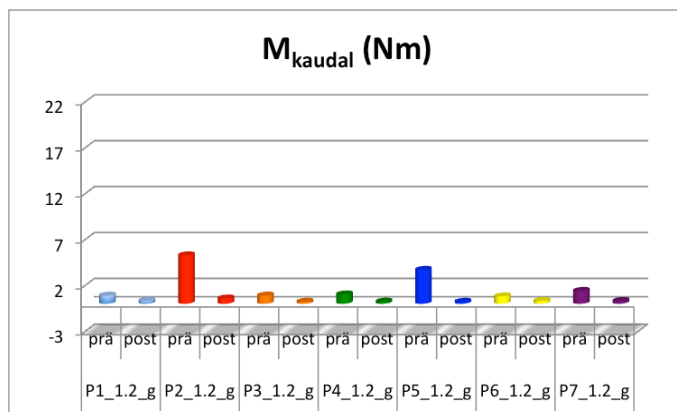
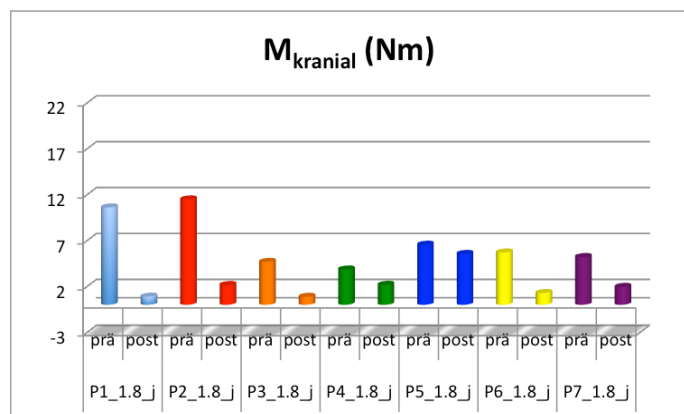
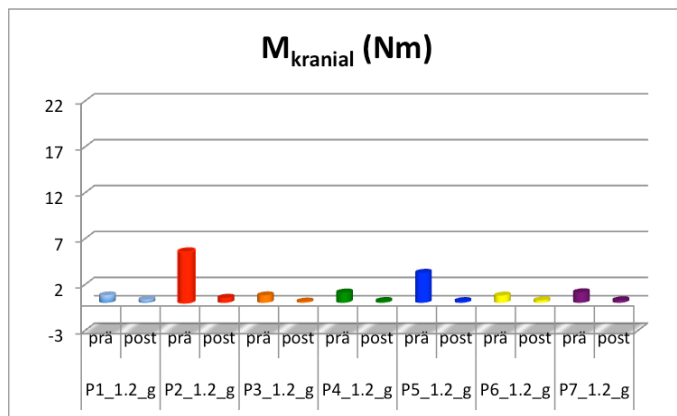


Tabelle 32: Vergleich der prozentualen Veränderung des maximalen medialen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $M_{\text{medial}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $M_{\text{medial}}$ (1,8 joggend)
P1	- 30,5 %	- 88 %
P2	- 94,6 %	- 84,6 %
P3	- 85,4 %	- 86,4 %
P4	- 86,3 %	- 82 %
P5	- 94,7 %	- 63,7 %
P6	- 69,7 %	- 77,3 %
P7	- 74,8 %	- 62,5 %
Mittelwert	- 76,6 %	- 77,9 %

Diagramm 36: Prozentuale Veränderung des durchschnittlichen maximalen medialen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

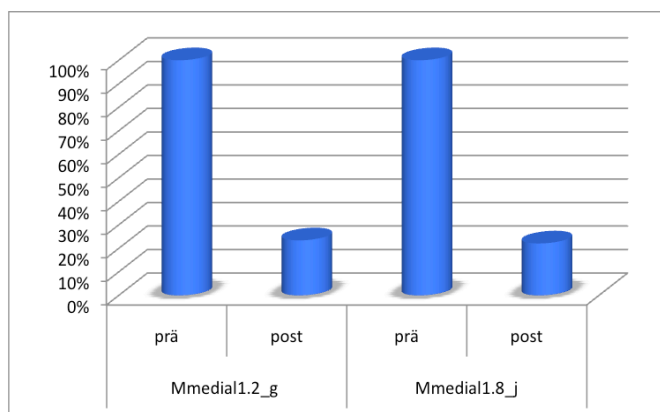




Tabelle 33: Vergleich der prozentualen Veränderung des maximalen lateralen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $M_{\text{lateral}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $M_{\text{lateral}}$ (1,8 joggend)
P1	- 47,8 %	- 78,6 %
P2	- 85,3 %	- 81,6 %
P3	- 85,3 %	- 79,7 %
P4	- 71,4 %	- 69,7 %
P5	- 94,9 %	- 42,8 %
P6	- 62,6 %	- 81,7 %
P7	- 67,4 %	- 51,3 %
Mittelwert	- 73,5 %	- 69,3 %

Diagramm 37: Prozentuale Veränderung des durchschnittlichen maximalen lateralen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

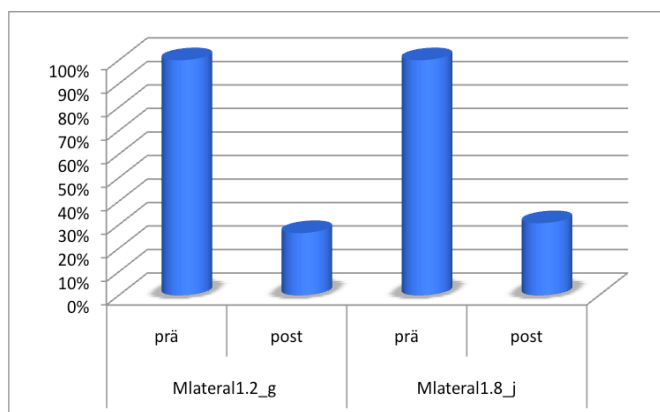


Tabelle 34: Vergleich der prozentualen Veränderung des maximalen kranialen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung $M_{\text{kranial}}$ (1,2 gehend)	Veränderung $M_{\text{kranial}}$ (1,8 joggend)
P1	- 58 %	- 91,5 %
P2	- 90 %	- 81,2 %
P3	- 82,7 %	- 81,2 %
P4	- 82,1 %	- 43,4 %
P5	- 94,2 %	- 15,3 %
P6	- 65,8 %	- 77,4 %
P7	- 75,6 %	- 62,4 %
Mittelwert	- 78,3 %	- 64,2 %

Diagramm 38: Prozentuale Veränderung des durchschnittlichen maximalen kranialen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

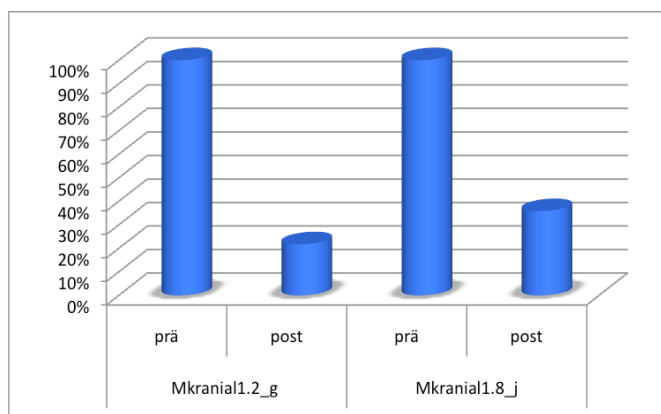
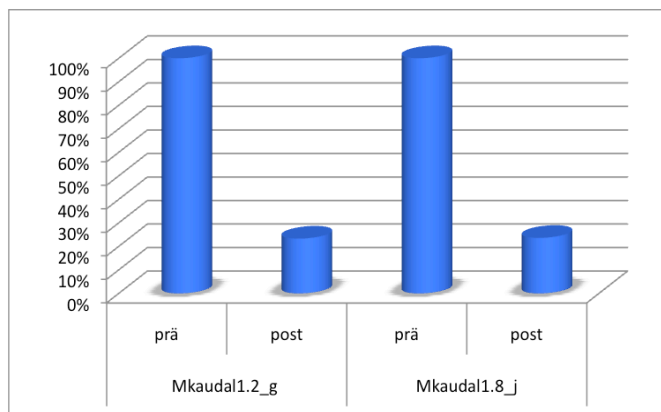


Tabelle 35: Vergleich der prozentualen Veränderung des maximalen kaudalen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7

	Veränderung M <sub>kaudal</sub> (1,2 gehend)	Veränderung M <sub>kaudal</sub> (1,8 joggend)
P1	- 62,9 %	- 86,5 %
P2	- 89 %	- 86,3 %
P3	- 74,4 %	- 76,4 %
P4	- 76,5 %	- 88 %
P5	- 94,1 %	- 40,1 %
P6	- 61,7 %	- 80,5 %
P7	- 78 %	- 76,8 %
Mittelwert	- 76,7 %	- 76,4 %

Diagramm 39: Prozentuale Veränderung des durchschnittlichen maximalen kaudalen Drehmoments M von prä- nach postoperativ, Patientinnen 1 bis 7



Das maximale Drehmoment der pendelnden Brust verringert sich bei der gehenden Patientin von prä- nach postoperativ durchschnittlich um 76,6 % nach medial und um 73,5 % nach lateral. Bei der joggenden Patientin reduziert sich das maximale Drehmoment um 77,9 % nach medial und um 69,3 % nach lateral (siehe Tabellen 32 bis 33 und Diagramme 36 bis 37).

Das nach kranial wirkende maximale Drehmoment verringert sich beim Gehen im Durchschnitt um 78,3 % und das nach kaudal wirkende maximale Drehmoment um 76,7 %. Beim Joggen nimmt das maximale Drehmoment nach kranial um 64,2 % ab, nach kaudal um 76,4 % (siehe Tabellen 34 bis 35 und Diagramme 38 bis 39).

### 3.5 Vergleich der Kraft mit und ohne BH

Zur näheren Betrachtung der Auswirkung eines Büstenhalters bei Mammahypertrophie wurde die Aufnahme in der Geschwindigkeit 1,8 joggend mit und ohne BH durchgeführt. Hier werden die wirkenden Kräfte aus den präoperativen Trials bei 1,8 joggend mit und ohne BH und die postoperative Aufnahme bei 1,8 joggend ohne BH verglichen. Dabei werden wiederum die Kräfte auf der x-Achse, entsprechend der mediolateralen Pendelbewegung der Brust, sowie die resultierenden Kräfte betrachtet (siehe Tabellen 36 bis 41 und Diagramme 40 bis 43).

Die Auswertung von Patientin 1 entfällt aufgrund eines defekten Trials (P1\_prae\_1,8\_j\_bh).

Tabelle 36: Maximale Kraft F nach lateral und medial, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, mit und ohne BH präoperativ und ohne BH postoperativ, Patientin 2

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P2_prae_1.8_j_ob	63,67	100	51,17	100	19,09	100	6,44	100
P2_prae_1.8_j_bh	56,91	89,4	52,65	102,9	25,89	135,6	9,51	147,7
P2_post_1.8_j_ob	20,69	32,5	14,29	27,9	7,49	39,2	2,56	39,8

Tabelle 37: Maximale Kraft F nach lateral und medial, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, mit und ohne BH präoperativ und ohne BH postoperativ, Patientin 3

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P3_prae_1.8_j_ob	21,30	100	32,20	100	10,40	100	4,16	100
P3_prae_1.8_j_bh	19,28	90,5	17,39	54	9,80	94,2	4,47	107,5
P3_post_1.8_j_ob	7,41	34,8	7,49	23,2	4,15	39,9	1,45	34,9

Tabelle 38: Maximale Kraft F nach lateral und medial, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, mit und ohne BH präoperativ und ohne BH postoperativ, Patientin 4

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P4_prae_1.8_j_ob	52,83	100	34,83	100	13,40	100	6,72	100
P4_prae_1.8_j_bh	15,14	28,7	26,09	74,9	20,13	150,2	6,59	98,1
P4_post_1.8_j_ob	14,82	28,1	12,82	36,8	9,93	74,1	3,20	47,6

Tabelle 39: Maximale Kraft F nach lateral und medial, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, mit und ohne BH präoperativ und ohne BH postoperativ, Patientin 5

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P5_prae_1.8_j_ob	23,79	100	21,22	100	22,61	100	6,54	100
P5_prae_1.8_j_bh	13,72	57,7	23,64	111,4	18,22	80,6	6,15	94
P5_post_1.8_j_ob	12,78	53,7	13,28	62,6	12,36	54,7	4,10	62,7

Tabelle 40: Maximale Kraft F nach lateral und medial, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, mit und ohne BH präoperativ und ohne BH postoperativ, Patientin 6

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P6_prae_1.8_j_ob	37,10	100	25,76	100	20,78	100	6,25	100
P6_prae_1.8_j_bh	24,35	65,6	24,51	95,2	13,91	66,9	4,52	72,3
P6_post_1.8_j_ob	8,71	23,5	7,43	28,8	6,67	32,1	1,78	28,5

Tabelle 41: Maximale Kraft F nach lateral und medial, maximale resultierende und mittlere resultierende Kraft F, mit und ohne BH präoperativ und ohne BH postoperativ, Patientin 7

Trial	F <sub>lateral</sub> (N)	%	F <sub>medial</sub> (N)	%	F <sub>r(max)</sub> (N)	%	mittlere F <sub>r(max)</sub> (N)	%
P7_prae_1.8_j_ob	23,52	100	20,36	100	16,46	100	5,27	100
P7_prae_1.8_j_bh	25,54	108,6	16,51	81,1	11,94	72,5	4,77	90,5
P7_post_1.8_j_ob	16,25	69,1	9,23	45,3	6,39	38,8	2,18	41,4

Diagramme 40 bis 43: Absolute Veränderung der maximalen Kraft (F) präoperativ mit und ohne BH und postoperativ ohne BH auf den jeweiligen Achsen, Patientinnen 2 bis 7

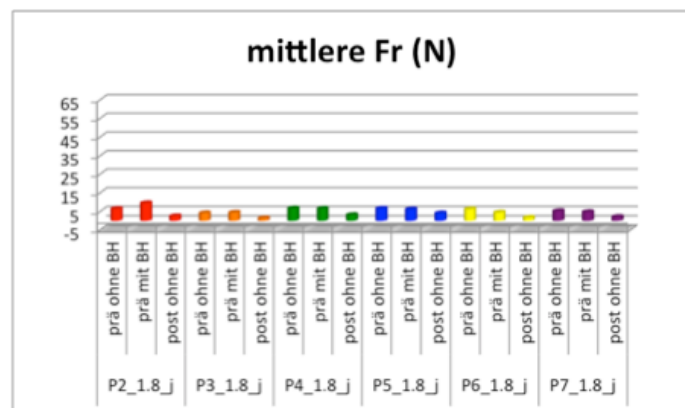
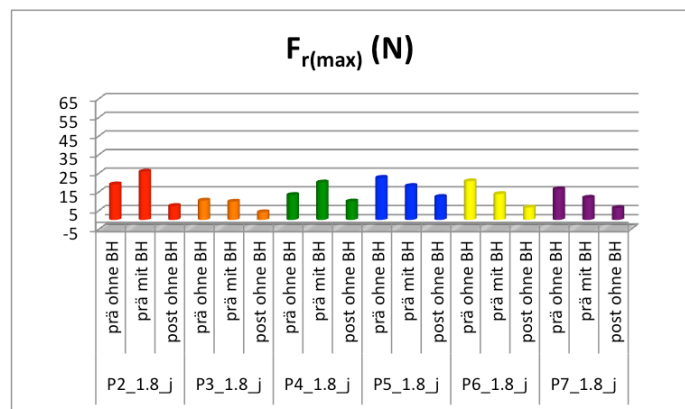
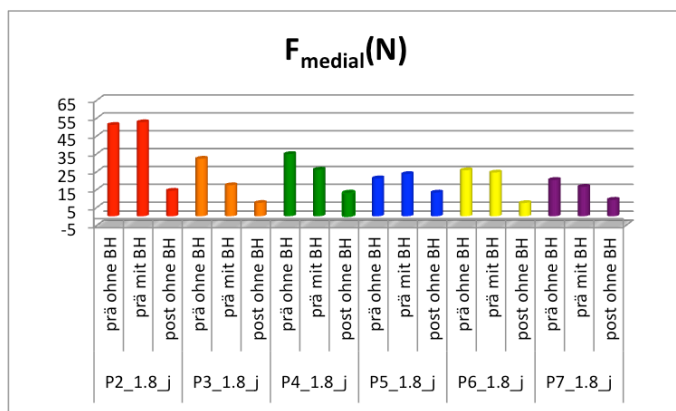
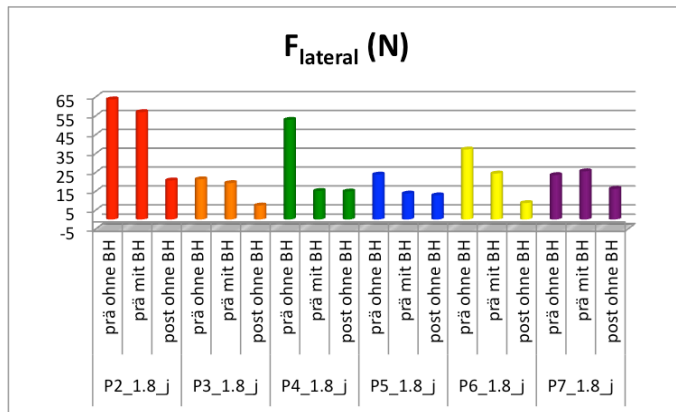


Tabelle 42: Vergleich der prozentualen Veränderung der nach lateral wirkenden maximalen Kraft F von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

	Veränderung $F_{\text{lateral}}$ (prä 1,8 m/s joggend ohne BH nach prä 1,8 m/s joggend mit BH)	Veränderung $F_{\text{lateral}}$ (prä 1,8 m/s joggend ohne BH nach post 1,8 m/s joggend ohne BH)
P2	- 10,6 %	- 67,5 %
P3	- 9,5 %	- 65,2 %
P4	- 71,3 %	- 71,9 %
P5	- 42,3 %	- 46,3 %
P6	- 34,5 %	- 76,5 %
P7	+ 8,6 %	- 30,9 %
Mittelwert	- 26,6 %	- 59,7 %

Diagramm 44: Prozentuale Veränderung der nach lateral wirkenden maximalen Kraft F von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

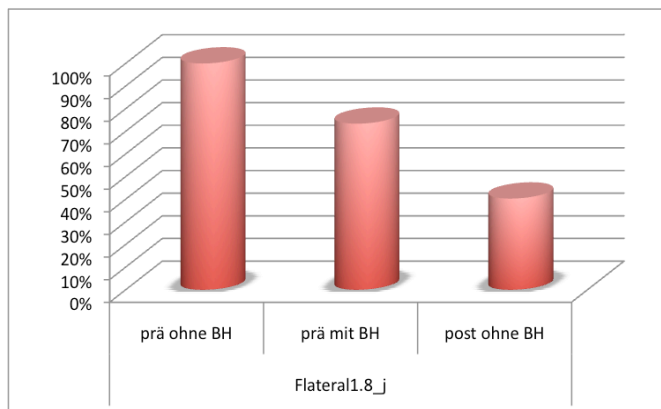


Tabelle 43: Vergleich der prozentualen Veränderung der nach medial wirkenden maximalen Kraft F von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

	Veränderung $F_{\text{medial}}$ (1,8 prä joggend ohne BH nach 1,8 prä joggend mit BH)	Veränderung $F_{\text{medial}}$ (1,8 prä joggend ohne BH nach 1,8 post joggend ohne BH)
P2	+ 2,9%	- 72,1 %
P3	- 46%	- 76,8 %
P4	- 25,1 %	- 63,2 %
P5	+ 11,4 %	- 37,4 %
P6	- 4,8 %	- 71,2 %
P7	- 18,9 %	- 54,7 %
Mittelwert	- 13,4 %	- 62,6 %

Diagramm 45: Prozentuale Veränderung der nach medial wirkenden maximalen Kraft F von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

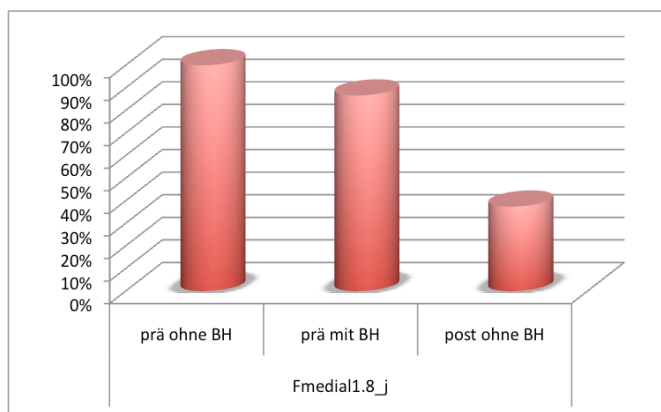




Tabelle 44: Vergleich der prozentualen Veränderung der maximalen resultierenden Kraft  $F_r$  von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

	Veränderung $F_{r(max)}$ (1,8 prä joggend ohne BH nach 1,8 prä joggend mit BH)	Veränderung $F_{r(max)}$ (1,8 prä joggend ohne BH nach 1,8 post joggend ohne BH)
P2	+ 35,6 %	- 60,8 %
P3	- 5,8 %	- 60,1 %
P4	+ 50,2 %	- 25,9 %
P5	- 19,4 %	- 45,3 %
P6	- 33,1 %	- 67,9 %
P7	- 27,5 %	- 61,2 %
Mittelwert	0 %	- 53,5 %

Diagramm 46: Prozentuale Veränderung der maximalen resultierenden Kraft  $F_r$  von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

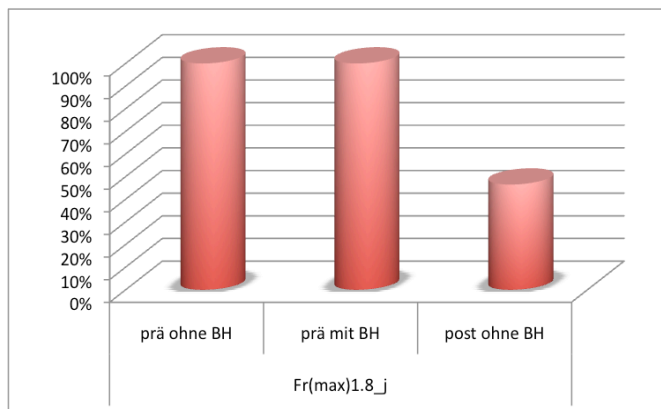
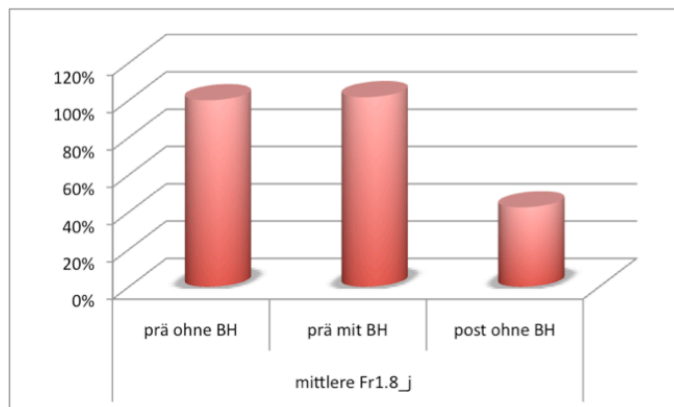


Tabelle 45: Vergleich der prozentualen Veränderung der mittleren resultierenden Kraft  $F_r$  von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7

	Veränderung mittlere $F_r$ (1,8 prä joggend ohne BH nach 1,8 prä joggend mit BH)	Veränderung mittlere $F_r$ (1,8 prä joggend ohne BH nach 1,8 post joggend ohne BH)
P2	+ 47,7 %	- 60,2 %
P3	+ 7,5 %	- 65,1 %
P4	- 1,9 %	- 52,4 %
P5	- 6 %	- 37,3%
P6	- 27,7 %	- 71,5 %
P7	- 9,5 %	- 58,6 %
Mittelwert	+ 1,7 %	- 57,5 %

Diagramm 47: Prozentuale Veränderung der mittleren resultierenden Kraft  $F_r$  von präoperativ ohne BH nach präoperativ mit BH und von präoperativ ohne BH nach postoperativ ohne BH, Patientinnen 2 bis 7



Im Vergleich der hypertrophen Brust ohne BH und mit BH beim Joggen reduziert sich die maximal nach lateral wirkende Kraft um 26,6 % und nach medial um 13,4 %. Die maximale resultierende Kraft verringert sich um 0 % und die mittlere resultierende Kraft erhöht sich um 1,7 % (siehe Tabellen 42 bis 45 und Diagramme 44 bis 47).

Im Vergleich der hypertrophen Brust ohne BH und der Brust nach operativer Therapie reduziert sich die maximale nach lateral wirkende Kraft um 59,7 % und nach medial um 62,6 %. Die maximale resultierende Kraft verringert sich um 53,5 %, die mittlere resultierende Kraft um 57,5% (siehe Tabellen 42 bis 45 und Diagramme 44 bis 47).

## 4 Diskussion

### 4.1 Einleitung

**„Hypertroph sind Brüste von Frauen, die das Gefühl haben, sie seien zu groß für ihren Körper, die physisch und emotional unter der Brustgröße leiden und sich von einer Brustverkleinerung Besserung erhoffen, unabhängig vom Gewicht der resezierten Brustanteile.“ [Dabbah et al. 1995].**

Veröffentlichungen zum Thema der übergroßen Brust finden sich bereits im 17. Jahrhundert in England [Durstun 1670]. Das Interesse und kontroverse Diskussionen hierzu haben seitdem bis heute stetig zugenommen. Doch trotz zahlreich durchgeführter Studien bleiben Definitionen und Grenzen weiterhin unklar.

Die Fokussierung richtet sich dabei zumeist auf das „Offensichtliche“, den sichtbaren Aspekt der übergroßen Brust. Dies schlägt sich nieder in zahlreichen medizinischen Definitionsversuchen und in der Subsumierung der Reduktionsoperationen als „Körperbild-verändernde Eingriffe“.

Versicherungsträger verlangen harte und objektivierbare Daten zur Anerkennung des Krankheitswertes der Mammahypertrophie. Dieser Forderung gerecht zu werden ist bisher nur in Ansätzen, aber lange noch nicht ausreichend gelungen. Es gilt die o.g. weiche Definition, die für jeden plastischen und rekonstruktiven Chirurgen logische Einschätzung dieses Krankheitsbildes und vor allem das subjektive Krankheitsempfinden der Patientinnen mit Mammahypertrophie mit objektivierbaren Daten zu unterstützen.

Dazu ist es notwendig, nicht nur den äußeren Aspekt zu berücksichtigen, sondern die biomechanische Genese der beobachteten Symptome darzustellen und ihre Auswirkung im Bezug auf ihre Krankheitswertigkeit zu überprüfen.

### 4.2 Übersicht über die bisher veröffentlichte Literatur

Zahlreiche in den vergangenen Jahren veröffentlichte Studien haben gezeigt, dass Patientinnen mit symptomatischer Mammahypertrophie erheblich von der operativen Therapie in Form einer beidseitigen Reduktionsplastik profitieren. Es konnte übereinstimmend dargestellt werden, dass die operative Therapie zu einer Linderung

bis hin zum Sistieren der Symptomatik sowie einer deutlichen Lebensqualitätssteigerung und Verbesserung der Performance im Alltag führt:

So konnte Gonzales et al. 1993 in einer prä- und postoperativen Befragung von Patientinnen mit Mammahypertrophie bei allen Patientinnen eine deutliche subjektive Schmerzreduktion nach Operation nachweisen, 25 % hatten gar keine Schmerzen mehr [Gonzales et al. 1993].

Die 1995 durch Miller et al. befragten Patientinnen gaben nicht nur in 93 % eine postoperative Symptomminimierung an, sondern es zeigte sich zudem eine Verringerung des Anteils übergewichtiger Patientinnen postoperativ. So war in dieser Studie präoperativ 49 % des Kollektivs übergewichtig, postoperativ waren es 40 %. Die Autoren führten die Zahlen auf ein erhöhtes Aktivitätslevel nach erfolgter Operation zurück [Miller et al. 1995].

1997 befragten Schnur et al. 328 Patientinnen, ob sie die Operation erneut durchführen lassen würden, 97 % bejahten dies [Schnur et al. 1997].

Die in den darauf folgenden Jahren veröffentlichten Patientenbefragungen unterstreichen diese Ergebnisse allesamt [Starley et al. 1998; Glatt et al. 1999; Horch et al. 1999; Shakespeare et al. 1999; Chadbourne et al. 2001; Sood et al. 2003; Strittmatter et al. 2004; Hermans et al. 2005; Freire et al. 2007; Benditte-Klepetko et al. 2007; Thoma et al. 2007; Borkenhagen et al. 2007; Ducic et al. 2010].

Unsere Studiengruppe veröffentlichte 2006 einen gezielt zur Erhebung der spezifischen Symptomatik bei Mammahypertrophie entwickelten Fragebogen. Die ausgewertete Befragung von 62 Patientinnen wies die operative Therapie des Krankheitsbildes als überaus wirksam aus, auch im Hinblick auf alternative Therapiemaßnahmen [Pega et al. 2006; Zwiolek et al. 2011].

In einer durch Spector et al. veröffentlichten Patientenbefragung aus 2008 stellten die Autoren gleich in ihrem Titel eine der Schlüsselfragen: „Outcome after breast reduction, does size really matter?“ [Spector und Karp 2007]. In den folgenden Veröffentlichungen wird eine einheitliche Antwort auf diese Frage gegeben:

In allen Studien zeigte sich eine Besserung der Symptomatik unabhängig von Größe und Gewicht der Patientinnen, d.h. die Operation zeigte sich wirksam, unabhängig vom BMI [Gonzales et al. 1993; Collins et al. 2002; Wagner und Alfonso 2005; Thoma et al. 2007]. Wagner und Alfonso konnten nachweisen, dass es bei adipöseren Patientinnen keineswegs zu vermehrten Komplikationen peri- und postoperativ kommt [Wagner und Alfonso 2005], was in älteren Publikationen angenommen wurde. Zudem

zeigte sich in vielen Studien kein Unterschied in der Wirksamkeit der operativen Therapie bezüglich des resezierten Gewichts [Miller et al. 1995; Wagner und Alfonso 2005; Freire et al. 2007; Spector et al. 2008]. Glatt et al. demonstrierten sogar, dass das postoperativ erfragte Körperbild sich unabhängig vom Körpergewicht verbesserte, d.h. auch adipösere Patientinnen profitierten von einem deutlich positiveren Körperbild [Glatt et al. 1999].

Eine durch Collins et al. in 2002 erstellte Metaanalyse mit einer vorausgegangenen systematischen Literaturrecherche der bisher veröffentlichten Literatur kommt ebenfalls zu dem Schluss, dass es durchgehend eine klinische Besserung der Symptomatik bei Patientinnen nach Reduktionsplastik gibt [Collins et al. 2002].

Zur Effektivität nichtoperativer Therapiemaßnahmen bei symptomatischer Mammahypertrophie untersuchten Collins et al. zwei Vergleichsgruppen: Eine Gruppe mit Patientinnen vor geplanter Reduktionsplastik und eine Gruppe mit Patientinnen die sich keiner operativen Therapie unterzogen. Hierbei zeigte sich in beiden Gruppen kaum eine Wirksamkeit von konservativen Maßnahmen wie Gewichtsabnahme, Physiotherapie oder das Tragen von speziellen BHs [Collins et al. 2002].

2008 führten Scholz et al. eine Kostenanalyse der konservativen versus operativen Therapie bei Makromastie durch. Die Autoren konnten vor allem die Unwirtschaftlichkeit von über lange Zeiträume durchgeführten konservativen Therapiemaßnahmen aufzeigen. So übersteigen laut Scholz et al. die Kosten von Krankengymnastik, Massagen, Psychotherapie etc. bereits nach einem halben Jahr die Kosten einer einmaligen operativen Behandlung um das 2,4fache [Scholz et al. 2008].

Bei den zahlreich veröffentlichten subjektiven Patientenbefragungen wurde schnell der Bedarf nach objektivierbaren Daten erkannt. So untersuchte Conway bereits 1962 den Zusammenhang zwischen übergroßer Brust und der Atemphysiologie und kam zu dem Schluss, dass Patientinnen mit Mammahypertrophie eine erhöhte Atemarbeit aufbringen müssen durch einen großen mechanischen Nachteil bei der Inspiration [Conway 1962].

Goldwyn führte Lungenfunktionstests bei zehn Patientinnen vor und nach Reduktionsplastik durch. Er konnte keine Änderung der Lungenfunktion feststellen [Goldwyn 1974].

Starley et al. wiesen eine Verbesserung der Lungenfunktion nach beidseitiger Mammareduktionsplastik nach, zudem zeigte sich postoperativ eine Verbesserung der Ausdauer bei sportlicher Betätigung (improved exercise tolerance) [Starley et al. 1998]. Sood et al. unterstrichen in einer Studie von 2003 diese Ergebnisse: Bei Patientinnen mit präoperativen Atembeschwerden konnte er nach durchgeführter Operation eine signifikante Besserung feststellen. Objektivierbare Parameter wie die inspiratorische Kapazität, die Thoraxwand-Compliance und der maximale Expirationsstrom fielen gebessert aus. Es zeigte sich sogar, dass diese Werte mit dem BMI korrelieren, d.h. je höher der BMI desto signifikanter die Besserung. Sood schlussfolgerte daraus, dass Frauen mit höherem BMI sogar noch mehr von einer Reduktion des Brustvolumens profitieren [Sood et al. 2003]. Iwuagwu et al. konnten 2006 keinen wesentlichen Unterschied der Lungenfunktion in ihrem Gesamtkollektiv, jedoch signifikante Änderungen in Subgruppen je nach reseziertem Gewicht feststellen [Iwuagwu et al. 2006]. Cunha et al. zeigten eine signifikant verbesserte Lungenfunktion bei 12 Patientinnen nach Mammareduktionsplastik, jedoch keine Veränderung der Werte einer gleichzeitig durchgeführten Blutgasanalyse [Cunha et al. 2011].

Bezüglich einer neurologischen Symptomatik beschrieb Kaye 1972 eine ulnare Hypästhesie an beiden Händen bei allen untersuchten Patientinnen mit Mammahypertrophie als Variante des „thoracic outlet syndrome“ [Kaye 1972].

1980 veröffentlichten Letterman et al. eine Abhandlung über die pathophysiologischen Vorgänge, die bei übergroßen Brüsten zur Verformung der Wirbelsäule führen. So wird beschrieben, dass die schweren Brüste den Körperschwerpunkt nach ventral verlagern und hierbei zur verstärkten zervikalen Lordose, zur Kompression von Weichteilgewebe und Bandscheiben und zur dorsalen Osteophytenbildung mit Begünstigung der Entstehung einer Spondylose führen. Zudem verstärkt die Mammahypertrophie laut Letterman et al. eine thorakale Kyphose und verursacht damit eine verminderte respiratorische Rippenexkursion. Des Weiteren beschreiben die Autoren einen starken Zug über die Haut an der Vorderseite des Thorax und der Klavikula bis hin zur Ablösung von kleinen Knochenfragmenten [Letterman und Schurter 1980].

2007 untersuchten Benditte-Klepetko et al. 50 Frauen mit einem Wirbelsäulen-MRT auf Pathologika in diesem Bereich und konnten feststellen, dass die Inzidenz degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen mit einem zunehmenden Brustgewicht korreliert [Benditte-Klepetko et al. 2007].

Im gleichen Jahr untersuchten Findikcioglu et al. den Zusammenhang zwischen Brustgröße und Körperhaltung mittels konventioneller Röntgen-Aufnahmen der Wirbelsäule. Sie stellten fest, dass mit ansteigender Brustgröße sowohl die Kyphose der Brustwirbelsäule als auch die Lordose der Lendenwirbelsäule zunimmt. Alter und BMI korrelierten damit nicht. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Brustgröße bei Frauen ein entscheidender Faktor für die Körperhaltung sein könnte, vor allem aufgrund der Tatsache, dass eine Veränderung in einem Wirbelsäulenabschnitt zur präzisen Balancierung durch einen anderen Wirbelsäulenabschnitt kompensiert wird [Findikcioglu et al. 2007].

Eine weitere Untersuchung der Körperhaltung vor und nach Mammareduktionsplastik wurde 2012 durch Tenna et al. veröffentlicht: An 30 Patientinnen wurde prä- und postoperativ eine statistische Stabilometrie durchgeführt, dabei zeigte sich postoperativ eine Verbesserung der Körperhaltung mit einer deutlichen Abnahme der Oszillationen des Körperschwerpunktes. Zudem konnte eine Verlagerung des Körperschwerpunktes nachgewiesen werden [Tenna et al. 2012].

Barbosa et al. vermuteten ebenfalls eine Veränderung der Sensomotorik mit Beeinträchtigung des Gleichgewichts durch eine Verschlechterung der Körperhaltung bei Patientinnen mit Mammahypertrophie. Die Autoren untersuchten Frauen mit und ohne übergroße Brust auf einer Kraftmessplatte und werteten die Veränderung und Geschwindigkeit des Druckmittelpunktes unter verschiedenen Bedingungen aus. Sie konnten eine verminderte Kontrolle über die Körperhaltung mit größeren Körperschwankungen als funktionelle körperliche Beeinträchtigung bei Patientinnen mit Mammahypertrophie nachweisen [Barbosa et al. 2012].

Foreman et al. widmeten sich in einer Veröffentlichung den Auswirkungen des biomechanischen Stresses auf die unteren Wirbelsäulenabschnitte. Die Autoren nahmen die Kompressionskraft am unteren Rücken vor und nach Mammareduktionsplastik beim Hochheben einer 5 kg schweren Hantel auf und konnten eine Reduktion der postoperativ auf die untere Wirbelsäule wirkenden Kraft um 35 % nachweisen [Foreman et al. 2009].



#### 4.3 Aktuelle Kontroverse

Trotz dieser Fülle an Arbeiten, die allesamt die pathologischen Auswirkungen der Mammahypertrophie und damit die Krankheitswertigkeit der übergroßen Brust bestätigen, lehnen die Kostenträger eine kausale Therapie ab.

Obwohl jeder in diesem Bereich spezialisierte Chirurg die Operation aufgrund der Gesundheitsbelastung als medizinisch indizierten Eingriff betrachtet, wird von Vertretern der Krankenkassen weiterhin angeführt, dass die bisher veröffentlichte Literatur keinen eindeutigen Beweis zum Krankheitswert der Mammahypertrophie anführen kann. Vor allem bei Patientinnen, deren Resektionsgewicht präoperativ unter 500 g pro Seite geschätzt ist, wird die Indikationsstellung weiterhin als grenzwertig medizinisch indiziert bis rein ästhetisch aufgefasst. Obwohl alle in der Literatur veröffentlichten Studienergebnisse eindeutig darauf hinweisen, dass jede Patientin, unabhängig vom BMI und der Menge des entfernten Gewebes, von einer Reduktionsplastik profitiert, kommt es beim größten Teil der Patientinnen zu einer Ablehnung der Kostenübernahme durch die Krankenkassen.

#### 4.4 Neuer Blickwinkel: Dynamische Vorgänge

Die Evaluation der Krankenkassen erfolgt meist unter dem Gesichtspunkt der reinen Gewichtsreduktion am Körper und unterstellt dabei, dass eine Gewichtsreduktion von z.B. 1 kg Brustgewebe bei einer 75 kg schweren Frau kaum eine Wirkung haben könne und der Eingriff aus diesem Blickwinkel doch vorzugsweise kosmetischer Natur sein müsse. Dementsprechend wird der Eingriff von Kassenseite als Körperbildverändernd und nicht als beschwerdetherapeutisch gewertet.

Diese Auffassung beinhaltet bisher nur eine statische Betrachtungsweise. Es findet eine reine Gewichtsbetrachtung ohne Berücksichtigung der dynamischen Vorgänge am Körper statt. Dabei ist es von Bedeutung, zu berücksichtigen, wo sich das Gewicht am Körper befindet und welche Auswirkungen es auf die Wirbelsäule und die Gelenke hat. Die Biomechanik und Biodynamik, d.h. welche Auswirkung das bewegte Gewicht hat, die Betrachtung der Mamma als beschleunigter Körper, ist ein wegweisender Aspekt bei der Erforschung und Beurteilung der Pathophysiologie der Mammahypertrophie.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, einen Beitrag zur Darstellung der biodynamischen Belastung durch die Mammahypertrophie zu leisten.

Die Innovation und Etablierung reproduzierbarer Untersuchungsverfahren kann objektive Ergebnisse zur Krankheitswertigkeit und therapeutischen Effektivität der operativen Behandlungsmaßnahmen liefern.

#### 4.5 Aktuelle Studie

Eine dynamische Erfassung der tatsächlich wirkenden Kräfte und biomechanischen Belastungen durch die hypertrophe Mamma und die damit verbundene potentielle Belastung auf den Schultergürtel und die obere wie untere Wirbelsäule sowie andere betroffene Körperregionen findet in dieser Studie zum ersten Mal statt.

In der vorliegenden Studie wurden sieben in der Frauenklinik des Universitätsklinikum Marburg rekrutierte Patientinnen einer prä- und postoperativen biomechanischen Messung in Form einer Bewegungsanalyse mit dem Auswertungsprogramm Motus® unterzogen.

Dabei erfolgten Video-Aufnahmen der sich bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegend Patientinnen auf dem Laufband mit drei in unterschiedlichen Winkeln positionierten Kameras. Die rechte Brust sowie die rechte Klavikula waren dabei mit retroflektierenden Markern ausgestattet, welche durch Ring-Lichtquellen beleuchtet und somit durch das im Anschluss verwendete Analyse-Programm Motus® erfasst werden konnten. Dabei wurden die Marker im dreidimensionalen Raum digitalisiert und standen somit zur Berechnung von verschiedenen biomechanischen Parametern zur Verfügung.

Nach Auswertung der prä- und postoperativen Messungen zeigte sich bei allen Patientinnen postoperativ eine deutliche Reduktion des von der Brust gegenüber dem Thorax zurückgelegten Weges und der ausgeübten Kraft. Das Drehmoment verringert sich nach Mammareduktionsplastik ebenfalls. Das Tragen eines BHs verringerte bei den meisten Patientinnen die gemessene Kraft bei einer hypertrophen Brust geringer als die operative Therapie, in manchen Messungen hatte das Tragen eines BHs keinen entlastenden Effekt.

Mit der Bewegungsanalyse der Brust wurde eine Untersuchungsmethode etabliert, die geeignet ist dynamische Bewegungen zu erfassen. Das Resultat sind objektivierbare Daten welche in der Lage sind, die biomechanische Belastung durch die hypertrophe Mamma und damit auch die potentielle Belastung des Skelettsystems darzustellen.

#### 4.6 Interpretation der Einzelergebnisse

##### 4.6.1 Bewegungsausmaß der Brust gegenüber dem Thorax

Durch die Bewegungsanalyse kann die von der Brust gegenüber dem Thorax zurückgelegte Strecke gut dargestellt werden. Die Zusammenfassung der einzelnen Brustmarker zu einem Brustmittelpunkt zeigt sich dabei als geeignete Annäherung zum wahren Brustmittelpunkt.

Bei allen Patientinnen ist zu beobachten, dass die hypertrophe Mamma eine deutliche Eigenbewegung gegenüber dem hier als statisch zu betrachtenden Thorax aufweist. Dabei zeigt sich bei den meisten Patientinnen das größte Bewegungsausmaß in Geh- und Laufgeschwindigkeit bei der Auslenkung der Brust nach medial und lateral.

Betrachtet man einzelne Patientinnen exemplarisch, lassen sich folgende Beobachtungen machen:

Bei der Patientin mit dem größten präoperativen Brustgewicht von 2500 g pro Seite (P2) beträgt das Bewegungsausmaß des Brustmittelpunktes bei der Pendelbewegung nach medial und lateral präoperativ bei Gehgeschwindigkeit 5,4 cm und postoperativ 4,9 cm.

Beim Joggen beträgt das Bewegungsausmaß nach medial und lateral präoperativ 12 cm und postoperativ 6,1 cm. Der Unterschied zwischen präoperativ gehend und präoperativ joggend ist somit relativ ausgeprägt (6,6 cm), während der Vergleich von Geh- und Lauf-Geschwindigkeit postoperativ einen wesentlich kleineren Unterschied ergibt (1,2 cm).

Bei der Betrachtung der Patientin mit dem kleinsten präoperativen Brustgewicht von 1000 g pro Seite (P3) beträgt das Bewegungsausmaß des Brustmittelpunktes bei der Pendelbewegung nach medial und lateral bei Gehgeschwindigkeit präoperativ 3,6 cm und postoperativ 1 cm. Beim Joggen beträgt das Bewegungsausmaß auf der mediolateralen Achse präoperativ 10,2 cm und postoperativ 3 cm. Der Unterschied

zwischen präoperativ gehend und präoperativ joggend ist somit bei P3 relativ ausgeprägt (6,6 cm), während der Vergleich von Geh- und Lauf-Geschwindigkeit postoperativ einen wesentlich kleineren Unterschied ergibt (2 cm). Die bei der Patientin mit dem größten präoperativen Brustgewicht gemachte Beobachtung lässt sich also auch bei der Patientin mit dem kleinsten Brustgewicht nachvollziehen.

Beachtenswert ist hier zusätzlich, dass bei P2 und P3 die absolute Distanzänderung auf der mediolateralen Bewegungsebene in Lauf-Geschwindigkeit ähnlich ausfällt. Bei P2 beträgt das Bewegungsausmaß 12 cm, bei P3 10,2 cm.

Das Bewegungsausmaß der hypertrophen Brust von sowohl P2 als auch P3 steigt bei schnelleren Bewegungen deutlich an, während die Brust nach Reduktionsplastik bei allen Geschwindigkeiten ähnliche Bewegungsmuster aufweist. Diese Beobachtung lässt sich bei einer Brust von 1 kg ebenso machen wie bei einer Brust von 2,5 kg. Die Brust von 1 kg zeigt also in ihrem Bewegungsausmaß eine ähnliche Dynamik wie die Brust von 2,5 kg.

Die hier gemachte Beobachtung stützt die Ergebnisse verschiedener vorhergegangener Studien, in denen das präoperative Brustgewicht nicht als Vorhersageparameter für die Wirksamkeit der Mammareduktionsplastik geeignet ist [Miller et al. 1995; Glatt et al. 1999; Wagner und Alfonso 2005; Freire et al. 2007; Spector und Karp 2007]. Vielmehr stützt dies die Annahme, dass das präoperative Brustgewicht bei diesen beiden Patientinnen nur ein Faktor in der dynamischen Belastung durch die Brust ist.

#### 4.6.2 Kraft

Bei der Darstellung der durch die bewegende Mamma ausgeübten Kraft zeigt sich, dass die präoperativ gemessene Kraft bei allen Geschwindigkeiten auf allen dargestellten Achsen um ein Vielfaches über der postoperativ gemessenen Kraft liegt. Die Verringerung der durch die Kraft ausgeübten Belastung von der hypertrophen zu eutrophen Brust zeigt sich nicht nur auf den einzelnen Bewegungsachsen, sondern auch in der maximalen und mittleren resultierenden Kraft. Diese verringert sich in ähnlichem Ausmaß wie die Einzelkräfte.

Bislang betrachtete man die Brust lediglich im Bezug auf ihr Gewicht. Die dynamische Betrachtung zeigt jedoch eine Kraftwirkung, die viel beeindruckender ist. Das macht auch die Beschwerden der Patientinnen wesentlich verständlicher. Auch die Effekte der Brustverkleinerung werden nachvollziehbar. Eine Körpergewichtsabnahme bei P4 um 713g scheint nicht viel, aber die dynamische Kraft nach kaudal hat von 35,8 N (48,6 N unter Berücksichtigung der Erdbeschleunigung) auf 11 N (18 N) abgenommen. Eine Kraftdifferenz von 24 N (30,6 N) ist gewaltig.

In der Gesamtbetrachtung sind die Messwerte für die durch die hypertrophe Brust ausgeübten Kräfte eindrücklich und zeigen die Bewegungsanalyse als geeignetes Verfahren zur Aufnahme der Belastungen und deren Verringerung durch die Mammareduktionsplastik an.

#### 4.6.3 Drehmoment

Die Brust übt in der ausgeführten Pendelbewegung ihren größten Schwingungsanteil nach medial und lateral aus. Da die Fülle an Daten eine Routinedarstellung erschwert, wurde in dieser Arbeit versucht, einen Surrogatmarker zu definieren, der die Gesamtbelastung am besten abbildet. Dies ist mit dem Drehmoment auf der mediolateralen Achse gelungen. Die wie ein Pendel zu den Seiten schwingende Brust erscheint im Vergleich mit den Ergebnissen des Bewegungsausmaßes der Brust gegenüber dem Thorax im Alltag als besonders belastend.

Die Ergebnisse zur Berechnung des Drehmoments zeigen bei allen Patientinnen deutlich höhere Werte bei der hypertrophen Brust als im operierten Zustand. Die Abnahme der Werte beträgt ein Vielfaches. Wie auch bei der Kraft zeigt sich bei der Auswertung des Drehmomentes eine Abnahme von prä- nach postoperativ und somit die Effektivität der Untersuchungsmethode.

#### 4.6.4 Vergleich der Kraft mit und ohne BH

Die Bewegungsanalyse als Untersuchungsmethode ist geeignet, um den Effekt der konservativen Therapiemaßnahme BH zu untersuchen.

Bei Betrachtung der quantitativen Ergebnisse in diesem Vergleich zeigt sich, dass der BH bei der hypertrophen Brust größtenteils eine Reduktion der Kraft bewirkt, jedoch

nicht im gleichen Maße wie die operative Therapie. Bei einigen Patientinnen konnte in manchen Bewegungsrichtungen unter Tragen des BHs sogar eine Steigerung der Kraft beobachtet werden (P2 nach medial, P5 nach medial, P7 nach lateral). Somit ist die Operation dem BH deutlich überlegen. Dies bestätigt die von Collins et al. beschriebenen Ergebnisse zur Evaluierung des BHs als konservative Therapiemaßnahme [Collins et al. 2002].

#### 4.7 Vergleich mit der Literatur

In dieser Studie zeigen sich plausible Ergebnisse aus der Erhebung von Bewegungsausmaß, Kraft und Drehmoment. Sie bestätigen die in der Literatur aus subjektiven Befragungen hervorgegangenen Ergebnisse auf neue Weise.

Berücksichtigt werden muss an dieser Stelle der an sich nur sehr bedingt anwendbare Abgleich dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen aus subjektiv erhobenen Parametern.

Von vielen Autoren beschrieben ist die Tatsache, dass der BMI der Patientin keinen Einfluss auf das postoperative Outcome hat und das damit die körperlichen Proportionen der Frau nicht als Entscheidungskriterium zur Indikationsstellung zur Reduktionsplastik geeignet sind [Gonzales et al. 1993; Dabbah et al. 1995; Glatt et al. 1999; Collins et al. 2002; Sood et al. 2003; Wagner et al. 2005].

Erschwerend hinzu kommt der Nachweis, dass eine Gewichtsabnahme sich meist nicht auf das Brustgewicht auswirkt [Collins et al. 2002]. Daneben haben mehrere Studien gezeigt, dass eine Gewichtsabnahme keinerlei Einfluss auf die Beschwerden bei Mammahypertrophie hat [Gonzales et al. 1993; Dabbah et al. 1995; Seitchik 1995; Collins et al. 2002]. Diese Ergebnisse sind in der bisherigen Literatur wiederholt anzutreffen.

Von Seiten der Kostenträger wurde dies wiederholt angezweifelt. Die hier vorliegende Untersuchung liefert jedoch eine Messmethode, die die in vielen Fragebögen etc. festgestellten Ergebnisse objektivieren kann. Das Eigenleben des zweiten beschleunigten Körpers liefert die Erklärung. Hier wird deutlich, dass die Brust als dynamischer Eigenkörper mit Einflussnahme auf den Halteapparat betrachtet werden muss. Die Mammae stellen eine durch dynamische Bewegungen noch gesteigerte Belastung für den Körper dar, unabhängig vom BMI des belasteten Körpers. Es ist aus diesem Grund davon auszugehen ist, dass ein adipöser Mensch nicht weniger anfällig

für die Auswirkungen eines zweiten an ihm beschleunigten Körpers ist. Die physiologische, dynamische Betrachtung des Menschen in Bewegung schafft hier ein neues Verständnis: Die alte, statische Betrachtung geht lediglich von einem relativen Mehrgewicht am ohnehin zu schweren Körper aus und ordnet diesem eine geringe Bedeutung zu. Die Beobachtung der beschleunigten Massen zeigt die überproportionale Belastung auch des adipösen Menschen durch die Mammahypertrophie und macht die Entlastung durch die operative Verkleinerung nachvollziehbar.

In der Literatur gibt es diverse Ansätze zur Erbringung von objektivierbaren Daten zum besseren Verständnis der Pathophysiologie bei Mammahypertrophie [Conway 1962; Starley et al. 1998; Sood et al. 2003; Iwuagwu et al. 2006; Benditte-Klepetko et al. 2007; Findikcioglu et al. 2007; Foreman et al. 2009; Cunha et al. 2011; Tenna et al. 2012].

Ein Vergleich mit den Untersuchungen zur Lungenfunktion [Conway 1962; Starley et al. 1998; Sood et al. 2003; Iwuagwu et al. 2006; Cunha et al. 2011] erscheint zum jetzigen Zeitpunkt kaum möglich. Es ist jedoch naheliegend, dass die in dieser Arbeit berechnete Verringerung der Gewichtskraft und Reduktion der Belastung durch die übergroße Brust postoperativ zur Erhöhung der Thoraxwand-Compliance und Verminderung des mechanischen Nachteils bei Inspiration [Conway 1962] führt.

Benditte-Klepetko et al. untersuchten 2007 Frauen mit hypertropher Mamma per Wirbelsäulen-MRT, Findikcioglu et al. führten 2007 konventionelle Röntgen-Aufnahmen der Wirbelsäule durch. In beiden Studien konnten Veränderungen an der Wirbelsäule in Zusammenhang mit einer Mammahypertrophie nachgewiesen werden. Die hier vorgestellte Studie mit Nachweis einer Belastung durch die hypertrophe Brust und damit potentieller Belastung des Skelettsystems stützt diese Befunde.

Tenna et al. konnten 2012 eine postoperative Verbesserung der Körperhaltung mit Stabilisierung des Körperschwerpunktes nachweisen. Im gleichen Jahr zeigten Barbosa et al. eine verminderte Kontrolle über die Körperhaltung mit größeren Körperschwankungen bei Patientinnen mit Mammahypertrophie. Die in dieser Studie gemessene Reduktion von Kraft und Drehmoment sowie deutliche Abnahme des durch die bewegte Brust zurückgelegten Weges legt eine Verminderung der Oszillationen des Körperschwerpunktes und somit eine Stabilisierung dessen nahe. Der Vergleich

zwischen der erwähnten statischen Messung und der in dieser Untersuchung durchgeführten dynamischen Messung ist jedoch auch hier nur eingeschränkt möglich.

Foreman et al. untersuchten 2009 die Auswirkungen des biomechanischen Stresses auf die unteren Wirbelsäulenabschnitte. Die Autoren nutzten u.a. ein mit sechs Kameras gestütztes Analyse-System sowie eine Kraft-Mess-Platte [Foreman et al. 2009] um die Kompressionskraft am unteren Rücken vor und nach Mammareduktionsplastik beim Hochheben einer 5 kg schweren Hantel aufzunehmen. Untersucht wurde dabei der untere Teil der Wirbelsäule mit seiner vor allem statischen Haltefunktion. Foreman et al. konnten so eine Reduktion der postoperativ auf die untere Wirbelsäule wirkenden Kraft um 35 % nachweisen. Dieses Ergebnis bestätigt die von uns aufgenommene Entlastung nach beidseitiger Mammareduktionsplastik.

Die veröffentlichten Ergebnisse objektivierbarer Untersuchungen behandeln maßgeblich statische Aspekte. Die hier vorgestellte Messmethode fügt erstmals eine Objektivierung der dynamischen Belastung hinzu. Der Vergleich mit der veröffentlichten Literatur ist im Ganzen kaum möglich.

#### 4.8 Limitationen dieser Studie

Diese Studie hat bei kleiner Fallzahl eine große Datenmenge produziert, so dass an verschiedenen Stellen eine Selektion der Ergebnisse und eine Zusammenfassung einiger Einzeldaten zur übersichtlicheren Darstellung vorgenommen werden musste. Eine Anwendung der Methode in einer größeren klinischen Studie würde durch die Auswertung aller anfallenden Einzeldaten im dreidimensionalen Raum erheblich erschwert werden.

So handelt es sich bei der Darstellung des Brustmittelpunktes um einen dynamisch-virtuellen Mittelpunkt, zusammengefasst aus den neun aufgenommenen Einzelmarkern an der Brust. Dies ist eine Annäherung an den wahren Brustmittelpunkt. Damit ist in dieser Studie eine Darstellung der biomechanischen Belastungen gelungen, die zum einen hinreichend genau und zum anderen praktikabel ist. Damit kann die Messmethode auch in weiteren Studien Anwendung finden.



Die vorliegende Studie war angelegt mit dem Ziel, eine neue Messmethode zu entwickeln. Sie dient zur Objektivierung der Kräfte mit denen eine hypertrophe Brust am Körper der Trägerin wirkt und zur Darstellung der Effekte von konservativen (BH) und operativen Therapiestrategien bei Mammahypertrophie (Reduktionsplastik).

Es konnte gezeigt werden, dass diese Messmethode anwendbar ist und reproduzierbare Ergebnisse liefert. Die Messmethode ist geeignet in weiteren Studien zur Behandlung der Mammahypertrophie zur Anwendung zu kommen.

Die Studie erlaubt noch keine Aussagen über den Einsatz der Methode in der klinischen Routine. Die Fallzahl war grundsätzlich nicht darauf ausgerichtet, statistische Aussagen über die untersuchten Patientinnen zu treffen. Die Studie ist als Grundlagenforschung angelegt damit vor allem exemplarischer Natur.

#### 4.9 Schlussfolgerungen

Die Grundlagen der biomechanischen Vorgänge an Wirbelsäule und Halteapparat bei Patientinnen mit Mammahypertrophie waren ein bisher kaum erforschtes Gebiet. Bisherige Untersuchungen beziehen sich hauptsächlich auf subjektive Patientenbefragungen und auf die Erhebung von objektiven Daten zu statischen Parametern.

Ein neuer Blickwinkel auf die Mammahypertrophie als solche wird zunehmend deutlicher: In dieser Studie wird die hypertrophe Brust als eigenständiger dynamischer Körper aufgenommen. Die durch die sich bewegende Brust hervorgerufene Belastung wird in ihrer Relation zur restlichen Körpermasse betrachtet. Die hypertrophe Brust kann nicht nur aufgrund ihrer statischen Eigenmasse, sondern auch ihrer Dynamik mit Bewegungsausmaß, Kraft und Drehmoment und anderen bisher noch nicht eruierten Parametern untersucht werden.

Dynamische Bewegungen und ihre Auswirkungen sind hochkomplex und benötigen daher umfangreiche Untersuchungsmethoden, um erforscht zu werden. Mit der vorgestellten Methode ist die dynamische Belastung durch die hypertrophe Brust und damit auch die potentielle Belastung des Skelettsystems messbar geworden. Das Resultat sind objektivierbare Daten, welche in der Lage sind eine Veränderung der biomechanischen Belastung nach Mammareduktionsplastik darzustellen. Es kann zum ersten Mal gezeigt werden, dass die Mammahypertrophie eine um ein vielfaches erhöhte Belastung des Halteapparats als bei eutropher Brust mit sich bringt und damit

nachvollziehbar ursächlich für die allgemein bekannte und in vielen Befragungen bestätigte Beschwerdesymptomatik sein kann.

Die hier vorgestellte Methode kann zudem eine konservative Maßnahme wie das Tragen eines BHs untersuchen. Ein ausreichender Effekt des BHs, der eine Operation verzichtbar machen könnte, kommt dabei nicht zur Darstellung.

Die operative Therapie in Form einer beidseitigen Mammareduktionsplastik führt zu einer deutlich messbaren und somit gut objektivierbaren biomechanischen Entlastung des Halteapparats und damit zu einer potentiellen Entlastung des Skelettsystems. Sie ist als wirksame Therapie bei übergroßer Brust anzusehen.

#### 4.10 Zukunftsaussichten

Die vorliegende Studie stellt eine bislang nicht durchgeführte Messmethode zur Objektivierung der biomechanischen Belastungen durch eine Mammahypertrophie vor. Die Methode hat anwendbare und reproduzierbare Ergebnisse geliefert. Sie erzeugt und unterstützt Hypothesen, deren Überprüfung Gegenstand weiterer Analysen sein kann.

In diese Untersuchung wurden Frauen unterschiedlichen Alters, verschiedener Brustgröße und mit einer für das in Frage kommende Kollektiv typischen Bandbreite des BMI eingeschleust. Damit ist sie exemplarisch auch für verschiedene Frauen anwendbar. Grundsätzlich eignet sie sich damit also auch für weitere Untersuchungen, die dann statistische Aussagen erlauben.

Speziell diese Messanordnung betreffend kann eine weitergehende Untersuchung mit zusätzlicher Markierung des Halteapparates, insbesondere der verschiedenen Wirbelsäulenabschnitte, erfolgen. Auf diese Weise ist es möglich, z.B. Kraft und Drehmoment in direktem Bezug zur Wirbelsäule zu berechnen. Dann kann nicht nur die potentielle, sondern auch die tatsächliche Gelenkbelastung und damit die Belastung des Halteapparates insgesamt am Computer simuliert werden kann.

Sinnvoll erscheint auch die gesonderte und vergleichende Untersuchung der Subpopulation von Patientinnen mit niedrigerem Resektionsgewicht, welche bei der Indikationsstellung zur operativen Therapie trotz vorhandener Beschwerdesymptomatik häufig die Grenzfälle zur Kostenübernahme durch die Krankenkassen darstellen.

## 5 Zusammenfassung

Patientinnen mit beidseitiger Mammahypertrophie leiden unter einer Vielzahl von somatischen Beschwerden wie Schmerzen im Schultergürtel, Nackenschmerzen und Schmerzen in thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenabschnitten, tiefe Einschnürfurchen durch BH-Träger und Taubheitsgefühl in den Händen. Häufig sind bei ihnen degenerative Veränderungen an der Wirbelsäule nachzuweisen. Die einzige kausale Therapie ist die beidseitige Mammareduktionsplastik. Konservative Therapiemaßnahmen zeigen keine anhaltende Wirkung.

Die übergroße Brust stellt jedoch kein für sich anerkanntes Krankheitsbild dar, so dass in vielen Fällen eine Kostenübernahme der Operation durch die Krankenkassen ausbleibt. Die Kostenträger akzeptieren die bisher zahlreich veröffentlichten Studien mit subjektiven Patientenbefragungen nicht. Verlangt werden harte objektivierbare Daten. Versuche hierzu behandeln bisher nur statische Aspekte der Mammahypertrophie, bei denen eine reine Gewichtsbetrachtung ohne Berücksichtigung der Vorgänge am bewegenden Körper stattfindet.

Eine dynamische Erfassung der tatsächlich wirkenden Kräfte und biomechanischen Belastungen durch die hypertrophe Mamma und damit die potentielle Belastung für den Schultergürtel, die Gelenke und die Wirbelsäule sowie andere betroffene Körperregionen findet in dieser Studie exemplarisch zum ersten Mal statt.

In der Frauenklinik des Universitätsklinikum Marburg wurden sieben Patientinnen rekrutiert und einer prä- und postoperativen Messung in Form einer Bewegungsanalyse mit Motus® im Institut für Biomechanik der Sporthochschule Köln unterzogen.

Dabei erfolgten Video-Aufnahmen der sich bei steigenden Geschwindigkeiten bewegenden Patientinnen auf dem Laufband mit drei in unterschiedlichen Winkeln positionierten Kameras. Die rechte Brust sowie die rechte Clavicula waren dabei mit retroflektierenden Markern ausgestattet. Während der Aufnahme wurden sie mit Ring-Lichtquellen beleuchtet, so dass sie mit dem im Anschluss verwendeten Analyse-Programm Motus® erfasst werden konnten. Dabei wurden die Marker im dreidimensionalen Raum digitalisiert und standen zur Berechnung von verschiedenen mechanischen Parametern zur Verfügung.

Nach Auswertung der prä- und postoperativen Messungen zeigte sich bei allen Patientinnen nach Mammareduktionsplastik eine deutliche Reduktion des

Bewegungsausmaßes der Brust gegenüber dem Thorax. Die durch die Brust ausgeübte Kraft und das Drehmoment verringerten sich überproportional.

Mit der vorgestellten Methode sind die dynamische Belastung und damit auch die potentielle Belastung des Skelettsystems durch die hypertrophe Brust messbar geworden. Die Bürde durch die hypertrophe Brust und die angegebenen Beschwerden sind objektivierbar. Die Ergebnisse demonstrieren eine Verminderung der biomechanischen Parameter nach Mammareduktionsplastik und damit die Wirksamkeit der operativen Therapie an.

Die vorgelegte Arbeit ist grundsätzlicher Natur und belegt, dass die Belastungen der Mammahypertrophie generell ermittelbar sind. Damit eignet sich die erarbeitete Methode für weiterführende Untersuchungen:

Diese Messanordnung kann mit einer Markierung des Halteapparates mit allen Wirbelsäulenabschnitten durchgeführt werden. Damit wird es möglich die Belastungsparameter in direktem Bezug auf die Wirbelsäule zu berechnen. So kann nicht nur die potentielle, sondern auch die tatsächliche Gelenkbelastung ermittelt werden. Des Weiteren kann eine gesonderte Untersuchung der Subpopulation von Patientin mit niedrigerem Resektionsgewicht erfolgen, da diese bei der Indikationsstellung meist Grenzfälle zur Kostenübernahme durch die Krankenkassen darstellen.

## Summary

Patients with bilateral breast hypertrophy suffer from a variety of physical symptoms including pain in the shoulder girdle, neck pain and pain in the thoracic and lumbar spine. The heavy weight of the breasts cause deep bra strap grooving as well as consecutive ulnar paresthesia. Degenerative changes of the spine are found in many of these women. Bilateral breast reduction is the only causal therapy. Conservative treatment has not been shown to be effective in long term.

To date, hypertrophic breasts are not officially recognised as a pathological condition. Most of the published studies consist of quality of life questionnaires that have gathered subjective data. These are not accepted by health insurance companies. As a result, health insurance companies do not cover the costs of the operative treatment. As a consequence there is a high demand for objective data. So far, there exist a few studies concerning static aspects of the burden caused by hypertrophic breasts in the medical literature. They mainly consider the static weight of the breast without regard to any dynamical mechanisms.

For the first time this study presents a method to measure the dynamic processes in patients with bilateral breast hypertrophy. We recorded the actual forces that affect the skeletal system and as a direct consequence the potential burden put on joints, the spine as well as other affected body areas.

Seven patients who underwent bilateral breast reduction were recruited from the Department of Gynaecology of the Phillips-University of Marburg. They were measured before and after surgery by a motion capture system (Vicon) at the Institute for Biomechanics and Orthopedics at the German Sports University in Cologne. With this measurement setting we acquired video-sequences while patients walked and ran at increasing speeds on a treadmill using three cameras on different positions. The right breast as well as the right clavícula were marked by retroflective markers. During every video-sequence, patients were illuminated by spotlights so that the retroflective markers could be recognised, digitalized and analysed by the Motus® software. From this data, various biomechanical parameters were calculated.

After breast reduction, the analysis revealed a distinct reduction of the extent of breast displacement in relation to the torso. Breast forces and torque also underwent an overproportional reduction.

The method presented in this study enables it to measure the dynamic burden of patients with breast hypertrophy and thereby the potential burden of the skeletal system. These results facilitate not only to objectify the load but also the symptoms of those patients. They demonstrate a reduction of all biomechanical parameters and therefore show that reduction mammoplasty is effective.

The presented study proves that the burden of breast hypertrophy is measurable. Therefore, the method enables further studies, e.g.:

Our measurement setup can be run with additional marks of the skeleton including the vertebral column. With this the actual burden of the spine and the joints can be measured. Additionally, the subpopulation of women with lower resection weights can be measured separately. These patients often represent borderline cases, and an objective assessment would facilitate the decision concerning the approval for cost coverage by health insurances.

## 6 Literaturverzeichnis

Abschlussbericht der Projektgruppe P 29 a. MDK, MDS. Plastische Chirurgie - Operationen der Brust und abdominaler Fettschürzen. Endfassung Stand 8. Mai 2002

Barbosa AF, Raggi GC, Sá Cdos S, Costa MP, Lima JE Jr, Tanaka C. Postural control in women with breast hypertrophy. *Clinics (Sao Paulo)*. 2012 Jul;67(7):757-60

Bässler R. Pathologie der Brustdrüse. In: Doerr W, Seifert G, Kehlinger E (Hrsg). *Spezielle pathologische Anatomie*, Bd. 11. Springer 1978, Berlin Heidelberg New York

Behmand RA, Tang DH, Smith DJ Jr. Outcomes in breast reduction surgery. *Ann Plast Surg*. 2000;45:575-580

Benditte-Klepetko H, Leisser V, Paternostro-Sluga T, Rakos M, Trattinig S, Helbich T, Schemper M, Deutinger M. Hypertrophy of the breast: a problem of beauty or health? *J Womens Health (Larchmt)*. 2007 Sep;16(7):1062-9

Berg A, Stark B, Malec E. Reduction mammoplasty: a way helping females with neck, shoulder and back pain symptoms. *Eur J Plast Surg*. 17:84-86. 2

Blomqvist L, Eriksson A, Brandberg Y. Reduction mammoplasty provides long-term improvement in health status quality of life. *Plast Reconstr Surg*. 2000 Oct;106(5):991-7

Blomqvist L. Reduction mammoplasty: analysis of patients' weight, resection weights, and late complications. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*. 1996 Sep;30(3):207-10

Borkenhagen A, Röhricht F, Preiss S, Schneider W, Brähler E. Changes in body image and health-related quality of life following breast reduction surgery in German macromastia patients: a new tool for measuring body image changes. *Ann Plast Surg*. 2007 Apr;58(4):364-70

Boschert MT, Barone CM, Puckett CL. Outcome analysis of reduction mammoplasty. *Plast Reconstr Surg*. 1996 Sep;98(3):451-4

Brown MD, Young VL. Reduction mammoplasty for macromastia. *Aesthetic Plast Surg*. 1993, 17: 211

Bulstrode N, Bellamy E, Shrotria S. Breast volume assessment: comparing five different techniques. *Breast*. 2001 Apr;10(2):117-23

Chadbourne EB, Zhang S, Gordon MJ, Ro EY, Ross SD, Schnur PL, Schneider-Redden PR. Clinical outcomes in reduction mammoplasty: a systematic review and meta-analysis of published studies. *Mayo Clin Proc*. 2001 May;76(5):503-10

Chao JD, Memmel HC, Redding JF, Egan L, Odom L, Casas LA. Reduction mammoplasty is a functional operation improving quality of life in symptomatic women: A prospective, single-center breast reduction outcome study. *Plast Reconstr Surg*. 2002, 110:1644

Collins ED, Kerrigan CL, Kim M, Lowery JC, Striplin DT, Cunningham B, Wilkins EG. The effectiveness of surgical and nonsurgical interventions in relieving the symptoms of macromastia. *Plast Reconstr Surg.* 2002 Apr 15;109(5):1556-66

Conway H. Weight of the breasts as a handicap to respiration: An argument for reduction mammoplasty in selected cases. *The American Journal of Surgery* June 1962, 103 (6), pg. 674-676

Cunha MS, Santos LL, Viana AA, Bandeira NG, Filho JA, Meneses JV. Evaluation of pulmonary function in patients submitted to reduction mammoplasty. *Rev Col Bras Cir.* 2011 Jan-Feb;38(1):11-4

Dabbah A, Lehman JA Jr, Parker MG, Tantri D, Wagner DS. Reduction mammoplasty: an outcome analysis. *Ann Plast Surg.* 1995 Oct;35(4):337-41

Davis GM, Ringler SL, Short K, Sherrick D, Bengtson BP. Reduction mammoplasty: long-term efficacy, morbidity, and patient satisfaction. *Plast Reconstr Surg.* 1995 Oct;96(5):1106-10

Deb R, Menke H. Mammareduktionsplastik - Aktuelle Behandlungsaspekte. *Hessisches Ärzteblatt* 2004; 11

Dieterich H, Dumont dos Santos D. Plastische Mammachirurgie: Mehr als Schönheitswahn. Chancen und Risiken. *Geburtsh Frauenheilk.* 2004; 64: 740–741

Ducic I, Iorio ML, Al-Attar A. Chronic headaches/migraines: extending indications for breast reduction. *Plast Reconstr Surg.* 2010 Jan;125(1):44-9

Durston W. Concerning a very sudden and excessive swelling of a woman's breasts. *Phil Trans R Soc, London* 1670 TV: 1047

Eisenmann-Klein M. Brustverkleinerungen sind oft angebracht, werden aber kaum noch bezahlt. Erhältlich bei: <http://schlosspark-klinik.com/schoenheitsoperationen/brustverkleinerung/brustverkleinerungen-krankenkasse.html>, 2006

Faria FS, Guthrie E, Bradbury E, et al. Psychosocial outcome and patient satisfaction following breast reduction surgery. *Br J Plast Surg.* 1999; 52:448–452

Faria FS, Guthrie E, Bradbury E, Brain AN. Psychosocial outcome and patient satisfaction following breast reduction surgery. *Br J Plast Surg.* 1999 Sep;52(6):448-52

Findikcioglu K, Findikcioglu F, Ozmen S, Guclu T. The impact of breast size on the vertebral column: a radiologic study. *Aesthetic Plast Surg.* 2007 Jan-Feb;31(1):23-7

Foged J. Symptomatology of breast hypertrophy. *Ugeskr Laeger.* 1953 Mar 19;115(12):439-51

Foreman KB, Dibble LE, Droge J, Carson R, Rockwell WB. The impact of breast reduction surgery on low-back compressive forces and function in individuals with macromastia. *Plast Reconstr Surg.* 2009 Nov;124(5):1393-9



Freire M, Neto MS, Garcia EB, Quaresma MR, Ferreira LM. Functional capacity and postural pain outcomes after reduction mammoplasty. *Plast Reconstr Surg*. 2007 Apr 1;119(4):1149-56; discussion 1157-8

Glatt BS, Sarwer DB, O'Hava DE, Hamori C, Bucky LP, LaRossa D. A retrospective study of changes in physical symptoms and body image after reduction mammoplasty. *Plast Reconstr Surg*. 1999, 103: 76

Goldwyn RM. Pulmonary function and bilateral breast reduction mammoplasty. *Plast Reconstr Surg*. 1974 Jan;53(1):84

Gonzales F, Walton RL, Shafer B, Matory WE, Borah GL. Reduction mammoplasty improves symptoms of macromastia. *Plast Reconstr Surg*. 1993, 91: 1270

Hermans BJ, Boeckx WD, De Lorenzi F, van der Hulst RR. Quality of life after breast reduction. *Ann Plast Surg*. 2005 Sep;55(3):227-31

Hollyman JN, Lacey JH, Whitfield PJ, et al. Surgery for the psyche: a longitudinal study of women undergoing reduction mammoplasty. *Br J Plast Surg*. 1986;39:222-224

Horch RE, Jaeger K, Stark GB. Quality of life after breast reduction-plasty. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1999 Mar;31(2):137-42

Hübener AW. Zur Kasuistik der echten beidseitigen Mammahypertrophie. *Langenbeck's Archives of Surgery*, August 1923, Volume 181, Numbers 1-2

Iwuagwu OC, Platt AJ, Stanley PW, Hart NB, Drew PJ. Does reduction mammoplasty improve lung function test in women with macromastia? Results of a randomized controlled trial. *Plast Reconstr Surg*. 2006 Jul;118(1):1-6

Kayar R, Civelek S, Cobanoglu M, Gungor O, Catal H, Emiroglu M. Five methods of breast volume measurement: a comparative study of measurements of specimen volume in 30 mastectomy cases. *Breast Cancer (Auckl)*. 2011 Mar 27;5:43-52

Kaye BL. Neurologic changes with excessively large breasts. *South Med J*. 1972, 65: 177

Kerrigan CL, Collins ED, Striplin D, Kim HM, Wilkins E, Cunningham B, Lowery J. The health burden of breast hypertrophy. *Plast Reconstr Surg*. 2001 Nov;108(6):1591-9

Klassen A, Fitzpatrick R, Jenkinson C, Goodacre T. Should breast reduction surgery be rationed? A comparison of the health status of patients before and after treatment: postal questionnaire survey. *BMJ*. 1996 Aug 24;313(7055):454-7

Kompatscher P, von Planta A, Seifert B, Beer GM. A body mass index related scale for reconstructive breast reduction. *Wien Med Wochenschr*. 2005 Feb;155(3-4):65-9

Lee MC, Lehman JA Jr, Tantri MD, Parker MG, Wagner DS. Bilateral reduction mammoplasty in an adolescent population: adolescent bilateral reduction mammoplasty. *J Craniofac Surg.* 2003 Sep;14(5):691-5

Letterman G, Schurter M. The effects of mammary hypertrophy on the skeletal system. *Ann Plast Surg.* 1980 Dec;5(6):425-31

Miller AP, Zacher JB, Berggren RB, Falcone RE, Monk J. Breast reduction for symptomatic macromastia: Can objective predictors for operative success be identified? *Plast Reconstr Surg.* 1995, 95: 77

Mizgala CL, MacKenzie KM. Breast reduction outcome study. *AnnPlast Surg.* 2000;44:125–133

Morimoto T, Komaki K, Mori T, Sasa M, Miki H, Inoue H, Monden Y, Nakanishi H. Juvenile gigantomastia: report of a case. *Surg Today* 1993; 23: 260-264

Neto MS, Demattê MF, Freire M, Garcia EB, Quaresma M, Ferreira LM. Self-esteem and functional capacity outcomes following reduction mammaplasty. *Aesthet Surg J.* 2008 Jul-Aug;28(4):417-20

Netscher DT, Meade RA, Goodman CM, Brehm BJ, Friedman JD, Thornby J. Physical and psychosocial symptoms among 88 volunteer subjects compared with patients seeking plastic surgery procedures to the breast. *Plast Reconstr Surg.* 1999; 105: 2366–2373

Noczynska A, Wasikowa R, Myczkowski T. Hypersensitivity of estrogen receptors as a cause of gigantomastia in two girls. *Pol Merkuriusz Lek.* 2001; 11: 507-509

O'Blenes CA, Delbridge CL, Miller BJ, Pantelis A, Morris SF. Prospective study of outcomes after reduction mammaplasty: long-term follow-up. *Plast Reconstr Surg.* 2006 Feb;117(2):351-8

Pandya S, Moore RG. Breast development and anatomy. Pandya S, Moore RG. *Clin Obstet Gynecol.* 2011 Mar;54(1):91-5

Pega S, Steckenmesser A, Koller M, Wagner U, Zwioerek L. Entwicklung eines neuen Fragebogens zur Qualitätssicherung der Mammareduktionsplastik - der MRP-Bogen. New Aspects of Quality Assessment in Reduction Mammaplasty. Development of a New Questionnaire for Use in Quality Assurance of Surgery for Mammahypertrophy - the MRP Questionnaire. *Geburtsh Frauenheilk.* 2006; 66: 861–869

Pernia LR, Ronel DN, Leeper JD, Miller HL. Carpal tunnel syndrome in women undergoing reduction mammaplasty. *Plast Reconstr Surg.* 2000 Apr;105(4):1314-9

Peters F. Die symptomatische Brust. Differentialdiagnostik gutartiger Brusterkrankungen. *Gynäkologie* 2002, 35: 1078-1086

Peters F. Entwicklungsstörungen der Mamma und deren Behandlung. *Gynäkologie* 1998, 31:549-557

Petzold A, Distler W. Entwicklungsanomalien der adoleszenten Mamma und ihre operative Korrektur. Gynäkologie 2004, 37: 791-798

Potthast W. Motion differences in goal kicking on natural and artificial soccer turf systems. Footwear Science 2010, Vol. 2, No. 1, 29–35

Raispis T, Zehring RD, Downey DL. Longterm functional results after reduction mammoplasty. Ann Plast Surg. 1995; 34: 113

Rogliani M, Gentile P, Labardi L, Donfrancesco A, Cervelli V. Improvement of physical and psychological symptoms after breast reduction. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2009 Dec;62(12):1647-9

Schnur PL, Hoehn JG, Ilstrup DM, Cahoy MJ, Chu CP. Reduction mammoplasty: cosmetic or reconstructive procedure? Ann Plast Surg. 1991 Sep;27(3):232-7

Schnur PL, Schnur DP, Petty PM, Hanson TJ, Weaver AL. Reduction mammoplasty: an outcome study. Plast Reconstr Surg. 1997 Sep;100(4):875-83

Scholz T, Diedrichson J, Olbrisch RR, Liebau J. Kostenanalyse der konservativen versus operativen Therapie der Makromastie. Handchir Mikrochir Plast Chir. 2008 Apr;40(2):100-4

Seitchik MW. Reduction mammoplasty: criteria for insurance coverage. Plast Reconstr Surg. 1995 May;95(6):1029-32

Shakespeare V, Cole RP. Measuring patient-based outcomes in a plastic surgery service: breast reduction surgical patients. Br J Plast Surg. 1997;50:242–248

Shakespeare V, Postle K. A qualitative study of patients' views on the effects of breast-reduction surgery: a 2-year follow-up survey. Br J Plast Surg. 1999 Apr;52(3):198-204

Sigurdson L, Mykhalovskiy E, Kirkland SA, Pallen A. Symptoms and related severity experienced by women with breast hypertrophy. Plast Reconstr Surg. 2007 Feb;119(2):481-6

Singh KA, Pinell XA, Losken A. Is reduction mammoplasty a stimulus for weight loss and improved quality of life? Ann Plast Surg. 2010 May;64(5):585-7

Sood R, Mount DL, Coleman JJ 3rd, Ranieri J, Sauter S, Mathur P, Thurston B. Effects of reduction mammoplasty on pulmonary function and symptoms of macromastia. Plast Reconstr Surg. 2003 Feb;111(2):688-94

Spector JA, Karp NS. Reduction mammoplasty: a significant improvement at any size. Plast Reconstr Surg. 2007 Sep 15;120(4):845-50

Spector JA, Singh SP, Karp NS. Outcomes after breast reduction: does size really matter? Ann Plast Surg. 2008 May;60(5):505-9

Starley IF, Bryden DC, Tagari S, Mohammed P, Jones BP. An investigation into changes in lung function and the subjective medical benefits from breast reduction surgery. *Br J Plast Surg*. 1998 Oct;51(7):531-4

Strittmatter HJ, Blecken SR, Neises M. Lebensqualitätsverbesserung nach Mamamreduktionsplastik. *Zentralbl Gynakol*. 2004 Dec;126(6):359-64

Strömbeck O. Macromastia in women and it's surgical treatment. A clinical study based on 1024 cases. *Acta Chir Scand* 1964;341: 121-127

Tenna S, Brunetti B, Trivelli M, Salvinelli F, Persichetti P. Postural variations after breast reduction: introduction of a new technique to achieve an objective analysis. *Ann Plast Surg*. 2012 Mar;68(3):261-4

Thoma A, Sprague S, Veltri K, Duku E, Furlong W. A prospective study of patients undergoing breast reduction surgery: health-related quality of life and clinical outcomes. *Plast Reconstr Surg*. 2007 Jul;120(1):13-26

Wagner DS, Alfonso DR. The influence of obesity and volume of resection on success in reduction mammoplasty: an outcomes study. *Plast Reconstr Surg*. 2005 Apr;115(4):1034-8

Young VL, Watson ME. Breast reduction. In: Sarwer DB, et al. *Psychological aspects of reconstructive and cosmetic palstic surgery*. Philadelphia 2006: Lippincott, Williams & Wilkins

Zwiorek L, Steckenmesser A, Sycha A, Koller M, Wagner U. Die Mammareduktionsplastik in Deutschland - Ergebnisse einer multizentrischen Erhebung. *Reduction Mammoplasty in Germany - Results of a Multicentre Study*. *Geburtsh Frauenheilk* 2011; 71(6): 530-537

## 7 Anhang

### 7.1 Rohdaten Ergebnisse

#### Wege P1

	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P1_prae_0.8_g_ob	max	35,79665256	93,11188909	-209,1094103	P1_post_0.8_g_ob	max	35,36768671	64,26540262	-160,53479
	min	28,82766935	77,41876134	-215,5026392		min	33,33542864	55,35825891	-164,6073351
	mittlerePos	31,35657199	84,15391862	-213,3310752		mittlerePos	34,42074593	59,05251656	-163,1532843
	ROM_Weg	6,968983202	15,69312775	6,393228935		ROM_Weg	2,032258069	8,907143712	4,072545023
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P1_prae_1.2_g_ob	max	46,16427845	90,38833885	-209,1414571	P1_post_1.2_g_ob	max	39,32238148	61,19415268	-162,8463048
	min	32,57759648	75,01910706	-216,385735		min	32,81074742	49,59436987	-167,523944
	mittlerePos	38,02493918	80,65164323	-213,3337001		mittlerePos	35,99023151	54,26006255	-165,6479583
	ROM_Weg	13,58668197	15,3692318	7,244277935		ROM_Weg	6,511634065	11,59978281	4,677639238
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P1_prae_1.5_g_ob	max	45,97616797	92,44702006	-207,317215	P1_post_1.5_g_ob	max	39,75632764	61,36633587	-163,079895
	min	17,88758295	72,89635094	-218,0415197		min	33,21443238	52,1623442	-168,4766845
	mittlerePos	32,44225972	81,21667515	-213,2184781		mittlerePos	36,31605544	54,92500721	-166,013076
	ROM_Weg	28,08858502	19,55066912	10,72430478		ROM_Weg	6,541895253	9,203991672	5,39678951
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P1_prae_1.5_j_ob	max	39,26727361	92,76608352	-184,5882307	P1_post_1.5_j_ob	max	31,29761226	52,9004786	-158,9402437
	min	7,482176996	64,76816972	-223,1696348		min	23,85650153	43,3232244	-168,3515339
	mittlerePos	24,46590708	78,40898839	-206,7680078		mittlerePos	28,3654373	47,1240062	-164,730532
	ROM_Weg	31,78509662	27,9979138	38,58140411		ROM_Weg	7,441110736	9,577254199	9,411290194
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P1_prae_1.8_j_ob	max	37,45330564	98,75388283	-156,3146696	P1_post_1.8_j_ob	max	30,34089016	60,97856071	-152,5290486
	min	10,43978384	59,46980359	-227,2431752		min	21,66487385	46,57030554	-171,3276363
	mittlerePos	24,53449764	79,89489721	-196,0071801		mittlerePos	26,84682313	51,95332928	-164,1591256
	ROM_Weg	27,01352181	39,28407924	70,92850563		ROM_Weg	8,676016303	14,40825516	18,79858775
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P1_post_1.8_j_bh	max	29,30552497	53,91121918	-159,1543463		max	29,30552497	53,91121918	-159,1543463
	min	26,84492181	42,62920358	-169,1358443		min	26,84492181	42,62920358	-169,1358443
	mittlerePos	28,23523829	46,88632198	-165,5017493		mittlerePos	28,23523829	46,88632198	-165,5017493
	ROM_Weg	2,460603162	11,2820156	9,981497957		ROM_Weg	2,460603162	11,2820156	9,981497957

#### Wege P2

	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P2_prae_0.8_g_ob	max	41,73046583	145,3351026	-314,2774833	P2_post_0.8_g_ob	max	21,32333678	102,4090585	-205,4454651
	min	-6,747363141	115,2155078	-325,9815125		min	1,627168586	81,08578219	-217,4770198
	mittlerePos	24,81899581	131,643184	-321,7600482		mittlerePos	13,71978965	91,05441676	-213,0038837
	ROM_Weg	48,47782897	30,11959486	11,70402923		ROM_Weg	19,69616819	21,32327633	12,03155475
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P2_prae_1.2_g_ob	max	39,63260444	150,0934296	-313,2056122	P2_post_1.2_g_ob	max	31,53824971	102,0919577	-204,4265616
	min	-14,6928056	113,090066	-329,6925509		min	-17,98652513	73,53794653	-218,3435985
	mittlerePos	20,06371509	131,0094469	-323,7114065		mittlerePos	17,13412951	88,73241972	-212,9419391
	ROM_Weg	54,32541005	37,00336355	16,48693869		ROM_Weg	49,52477484	28,55401115	13,91703689
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P2_prae_1.5_g_ob	max	68,23909947	118,8221512	-312,0712341	P2_post_1.5_g_ob	max	34,71565623	96,11621918	-205,2248001
	min	17,73119327	76,74672966	-334,5061868		min	-28,7670806	69,88022527	-220,6321061
	mittlerePos	44,11466476	96,17271483	-323,8898867		mittlerePos	16,83297843	83,65434843	-214,5389404
	ROM_Weg	50,50790621	42,07542152	22,43495271		ROM_Weg	63,48273683	26,23599391	15,40730598

P2_prae_1.5_j_ob	Parameter	X	Y	Z	P2_post_1.5_j_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	98,90226264	151,1006846	-288,5676483		max	37,57525082	97,78046979	-195,586653
	min	-4,467391547	89,11500712	-336,6213729		min	-10,83374644	58,23175602	-223,7051866
	mittlerePos	42,7616181	111,4292408	-317,9414042		mittlerePos	19,5979637	77,84927724	-212,9510543
P2_prae_1.8_j_ob	ROM_Weg	103,3696542	61,98567749	48,0537246	P2_post_1.8_j_ob	ROM_Weg	48,40899726	39,54871377	28,11853365
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
	max	102,4662823	146,1306967	-289,5522738		max	45,22106716	93,92100581	-188,6314036
	min	-17,32662264	68,58144488	-340,8039629		min	-15,95002704	44,15980961	-229,4007404
P2_prae_1.8_j_bh	mittlerePos	62,9836768	97,02253715	-320,2991013	P2_post_1.8_j_bh	mittlerePos	24,48121134	66,96089894	-212,5966577
	ROM_Weg	119,792905	77,54925185	51,25168909		ROM_Weg	61,1710942	49,7611962	40,76933684
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
	max	22,61621237	136,6963442	-153,8414472		max	11,87332603	91,7670755	-208,411967
Wege P3	min	-28,79366592	94,8021717	-241,7641871	P3_post_1.8_j_bh	min	-8,58648469	47,19691218	-245,0405726
	mittlerePos	15,46087435	119,1786717	-204,4558967		mittlerePos	5,477270546	70,34400208	-229,3022861
	ROM_Weg	51,40987829	41,8941725	87,92273992		ROM_Weg	20,45981072	44,57016332	36,62860568
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P3_prae_0.8_g_ob	max	60,24630313	77,38122406	-240,9449127	P3_post_0.8_g_ob	max	20,56926559	48,03793589	-168,9956462
	min	41,52757504	56,56195259	-248,0013491		min	10,33909756	35,81349067	-173,0507155
	mittlerePos	50,93629165	66,63948922	-244,9284537		mittlerePos	16,50806675	41,12128708	-171,5457272
	ROM_Weg	18,71872809	20,81927147	7,05643635		ROM_Weg	10,23016803	12,22444522	4,055069314
P3_prae_1.2_g_ob	Parameter	X	Y	Z	P3_post_1.2_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	61,34948581	76,28209686	-239,5217133		max	26,45692301	37,20489161	-170,2640686
	min	25,64970656	51,46916705	-246,2670626		min	16,45506762	26,74030579	-175,1604449
	mittlerePos	44,48673787	61,5202392	-243,8522467		mittlerePos	21,63585433	32,32783823	-172,6873251
P3_prae_1.5_g_ob	ROM_Weg	35,69977925	24,81292981	6,745349376	P3_post_1.5_g_ob	ROM_Weg	10,00185538	10,46458581	4,896376325
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
	max	71,75677664	72,75213747	-235,6871109		max	30,40853538	42,6185222	-167,3690694
	min	11,58266865	47,37668017	-246,2744954		min	18,84737583	31,20048447	-173,7215334
P3_prae_1.5_j_ob	mittlerePos	40,46692835	60,97766291	-241,569422	P3_post_1.5_j_ob	mittlerePos	24,70712644	36,64478453	-170,9283328
	ROM_Weg	60,17410799	25,3754573	10,58738453		ROM_Weg	11,56115956	11,41803773	6,352463985
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
	max	75,92874417	74,81361091	-215,5551071		max	27,86835529	47,08825836	-160,4858368
P3_prae_1.8_j_ob	min	3,564455468	44,98263371	-251,225011	P3_post_1.8_j_ob	min	9,713339412	29,36478353	-175,930002
	mittlerePos	33,54347597	59,96619576	-238,2879153		mittlerePos	17,798532	36,00104322	-169,7121125
	ROM_Weg	72,36428871	29,83097719	35,66990388		ROM_Weg	18,15501588	17,72347484	15,44416521
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P3_prae_1.8_j_bh	max	90,76789307	76,99687341	-206,6166992	P3_post_1.8_j_bh	max	31,21125737	45,13039335	-150,7619697
	min	-10,7387745	26,07248726	-255,7375514		min	0,92056573	22,21268188	-177,1189834
	mittlerePos	44,14340764	50,36997302	-234,389265		mittlerePos	15,0913339	32,40260661	-167,6114369
	ROM_Weg	101,5066676	50,92438614	49,12085221		ROM_Weg	30,29069164	22,91771147	26,35701374
Wege P4	Parameter	X	Y	Z	P4_post_0.8_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	59,09323214	67,58883759	-196,3635953		max	28,1371825	40,19457237	-153,0757599
	min	-12,68648951	28,04254238	-255,0149449		min	6,633593287	19,89971921	-174,2425128
	mittlerePos	34,75337659	50,06841385	-226,4344722		mittlerePos	19,69509076	28,7947355	-165,7251423
P4_prae_0.8_g_ob	ROM_Weg	71,77972165	39,54629521	58,65134956	P4_post_0.8_g_ob	ROM_Weg	21,50358922	20,29485316	21,16675289
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
	max	18,74723397	99,94772148	-274,5189056		max	41,62838936	80,42994342	-201,8898392
	min					min			

	min	-3,474262693	76,70270319	-283,1503582		min	15,90592386	65,59628777	-208,8709617		
	mittlerePos	12,75552829	88,93511648	-279,730905		mittlerePos	29,25100261	74,66281759	-205,7254177		
	ROM_Weg	22,22149666	23,2450183	8,631452598		ROM_Weg	25,7224655	14,83365566	6,98112257		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
	max	13,11434984	106,5419777	280,816658		max	34,38023641	67,79893935	-206,0763702		
P4_prae_1.2_g_ob	min	-23,7696013	82,40356255	267,647507	P4_post_1.2_g_ob	min	23,2731022	57,74999013	-210,7359945		
	mittlerePos	7,079095254	97,82422757			mittlerePos	29,20201445	64,08367303	-209,1472024		
	ROM_Weg	36,88395114	24,13841515	13,16915106		ROM_Weg	11,10713422	10,04894922	4,659624266		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
	max	15,02256536	97,10857819	282,6032791		max	44,16734753	70,64138974	-204,2200775		
P4_prae_1.5_g_ob	min	-24,01427326	75,80130768	271,0492295	P4_post_1.5_g_ob	min	7,90753924	54,01264951	-211,6059977		
	mittlerePos	8,134241251	86,24412083			mittlerePos	28,7173517	61,69860197	-209,2783882		
	ROM_Weg	39,03683863	21,30727051	11,55404962		ROM_Weg	36,25980829	16,62874023	7,385920187		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
	max	57,28922122	101,5168144	294,1855988		max	42,65222073	78,97369712	-178,373254		
P4_prae_1.5_j_ob	min	-27,20296236	34,84066923	216,1999917	P4_post_1.5_j_ob	min	18,97469966	52,60332283	-214,0412847		
	mittlerePos	31,4540665	72,93753893			mittlerePos	31,02012339	65,44549778	-200,0076515		
	ROM_Weg	84,49218357	66,67614515	77,98560701		ROM_Weg	23,67752106	26,37037429	35,66803078		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
	max	62,90381602	91,0491267	295,9675751		max	39,15477005	67,90513803	-167,4038137		
P4_prae_1.8_j_ob	min	-11,88001681	47,21789859	227,712547	P4_post_1.8_j_ob	min	8,914893059	32,95633103	-221,2317859		
	mittlerePos	31,54177302	73,4260324			mittlerePos	24,11729681	49,35215521	-199,9983273		
	ROM_Weg	74,78383283	43,83122812	68,25502806		ROM_Weg	30,23987699	34,948807	53,82797226		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
	max	-5,763003834	93,59705653	236,5704973		max	6,395456446	68,28917285	-176,9453837		
P4_prae_1.8_j_bh	min	-25,41431256	54,44044676	174,782617	P4_post_1.8_j_bh	min	-5,460446493	44,58711141	-220,4070602		
	mittlerePos		77,2866839			mittlerePos	3,131302385	56,67194649	-202,5199527		
	ROM_Weg	19,65130873	39,15660976	61,78788032		ROM_Weg	11,85590294	23,70206145	43,46167646		
	Wege P5										
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
P5_prae_0.8_g_ob	max	-75,03083781	41,31212085	-269,8054886	P5_post_0.8_g_ob	max	14,13076201	67,42424731	-208,3130137		
	min	-100,7270412	8,360902295	-280,1873365		min	3,396489696	52,41651605	-214,4591285		
	mittlerePos		26,49120935	-276,0942139		mittlerePos	9,570509236	58,08210846	-212,5065971		
	ROM_Weg	25,69620343	32,95121856	10,38184787		ROM_Weg	10,73427232	15,00773125	6,146114811		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
P5_prae_1.2_g_ob	max	-71,66231088	30,20604712	-258,432902	P5_post_1.2_g_ob	max	14,95411969	58,06888449	-208,0941301		
	min	-120,4460576	-4,239556246	-282,0062112		min	-1,491743955	44,39119714	-214,4467964		
	mittlerePos		16,81349253	-274,5277297		mittlerePos	8,105383362	49,90269455	-212,1345918		
	ROM_Weg	48,78374676	34,44560337	23,57330921		ROM_Weg	16,44586365	13,67768734	6,352666353		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
P5_prae_1.5_g_ob	max	-68,84485699	52,65884407	-255,5863708	P5_post_1.5_g_ob	max	10,16110013	45,09726222	-210,0517171		
	min	-122,9826646	13,75064017	-284,2843495		min	-25,76495012	24,63399085	-219,2333871		
	mittlerePos		35,69030485	-273,8225581		mittlerePos	4,507002623	34,98951213	-215,6920803		
	ROM_Weg	54,13780759	38,9082039	28,6979786		ROM_Weg	35,92605024	20,46327137	9,181669933		
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z		
P5_prae_1.5_j_ob	max	-98,06542451	48,70205655	-251,1660004	P5_post_1.5_j_ob	max	15,60262721	29,83830198	-195,4485474		
	min	-115,4126978	-8,453491912	-270,242796		min	-8,712191487	-6,701841721	-213,8568702		
	mittlerePos		25,84491316	-263,0962119		mittlerePos	10,42982277	14,02729874	-208,0379576		
	ROM_Weg	17,34727333	57,15554847	19,07679562		ROM_Weg	24,3148187	36,5401437	18,40832284		
	P5_prae_1.8_j_ob	Parameter	X	Y		Z	P5_post_1.8_j_ob	Parameter	X	Y	Z

P5_prae_1.8_j_bh	max	-69,35619053	67,50238999	-230,4668312	P5_post_1.8_j_bh	max	82,40090942	24,3768935	-183,90065
	min	-143,5092212	-4,936035558	-287,6876836		min	57,53868663	-26,80484515	-215,081072
	mittlerePos		33,44128598	-265,0083532		mittlerePos	68,99602881	18,00809394	-205,2832289
	ROM_Weg	74,15303066	72,43842555	57,22085243		ROM_Weg	24,86222279	51,18173866	31,18042197
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
	max	-72,27812603	60,5910746	-216,2913884		max	32,24505478	68,65639842	-184,3411992
	min	-102,8541725	6,192194448	-275,984198		min	-11,4060808	43,47448083	-229,2551527
	mittlerePos		34,64862153	-248,5382406		mittlerePos	19,09493235	56,4639715	-212,168153
	ROM_Weg	30,57604647	54,39888015	59,69280967		ROM_Weg	43,65113558	25,1819176	44,9139535
	Wege P6								
P6_prae_0.8_g_ob	Parameter	X	Y	Z	P6_post_0.8_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	-15,4163762	87,75697436	-209,177536		max	5,328068297	76,93257599	-175,7851532
	min	-31,79764126	71,46743701	-218,6350221		min	19,56001837	64,23298298	-183,3896454
	mittlerePos		79,41552276	-215,7662683		mittlerePos		70,16151588	-180,9960179
	ROM_Weg	16,38126506	16,28953735	9,457486121		ROM_Weg	14,23195007	12,69959301	7,604492187
P6_prae_1.2_g_ob	Parameter	X	Y	Z	P6_post_1.2_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	-5,918816887	88,6014464	-204,0127506		max	2,271745734	73,95419312	-175,1184196
	min	-36,0247488	60,67063433	-221,0367975		min	22,88796091	57,74560927	-186,4893563
	mittlerePos		74,28468363	-215,5697261		mittlerePos	1,072394659	64,37218566	-183,7543149
	ROM_Weg	30,10593191	27,93081206	17,02404684		ROM_Weg	25,15970664	16,20858385	11,37093662
P6_prae_1.5_g_ob	Parameter	X	Y	Z	P6_post_1.5_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	-8,834673052	89,50492708	-201,5903713		max	5,030696977	73,02420779	-176,1569977
	min	-41,12644795	56,63284308	-219,9518571		min	21,40025645	52,77577029	-188,3025505
	mittlerePos		72,39189019	-214,2906601		mittlerePos	2,409520286	60,80816425	-184,2372101
	ROM_Weg	32,2917749	32,87208401	18,36148581		ROM_Weg	26,43095342	20,2484375	12,14555286
P6_prae_1.5_j_ob	Parameter	X	Y	Z	P6_post_1.5_j_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	24,95056279	107,1224082	-181,6986885		max	13,98454806	87,28344476	-165,3471012
	min	-26,37829031	47,51388078	-223,6221515		min	12,67346162	48,91500888	-188,3355448
	mittlerePos	16,7698883	77,60490804	-211,5206652		mittlerePos	7,334448492	69,46635818	-179,7254556
	ROM_Weg	51,3288531	59,60852743	41,92346295		ROM_Weg	26,65800968	38,36843588	22,98844354
P6_prae_1.8_j_ob	Parameter	X	Y	Z	P6_post_1.8_j_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	37,35520446	112,5387658	-158,4974314		max	20,92521481	87,69407563	-160,3952217
	min	-37,10554799	47,59988972	-223,962748		min	14,64702448	44,45753223	-190,1633174
	mittlerePos	20,17458958	80,79866021	-203,5656503		mittlerePos	10,40386794	67,63667223	-180,4543917
	ROM_Weg	74,46075245	64,93887608	65,4653166		ROM_Weg	35,57223929	43,2365434	29,76809572
P6_prae_1.8_j_bh	Parameter	X	Y	Z	P6_post_1.8_j_bh	Parameter	X	Y	Z
	max	20,49598396	106,9616463	-176,478689		max	11,34694143	81,41961763	-159,6013467
	min	-10,76983451	56,55009761	-221,8509734		min	1,211113239	45,84912766	-184,8644037
	mittlerePos	10,02766873	83,56855796	-204,9383058		mittlerePos	4,717200614	63,89246734	-175,5173416
	ROM_Weg	31,26581847	50,41154873	45,37228439		ROM_Weg	10,13582819	35,57048996	25,26305701
Wege P7									
P7_prae_0.8_g_ob	Parameter	X	Y	Z	P7_post_0.8_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	2,778802194	75,98622386	265,4096985		max	26,98818737	-57,56835556	205,1639506
	min	-19,77029692	100,7489681	254,6591245		min	42,59356345	-72,56065763	194,3844888
	mittlerePos	1,665469969				mittlerePos			
	ROM_Weg	22,54909912	24,76274426	10,75057403		ROM_Weg	15,60537607	14,99230207	10,77946183
P7_prae_1.2_g_ob	Parameter	X	Y	Z	P7_post_1.2_g_ob	Parameter	X	Y	Z
	max	13,12562483	77,95498158	265,4346924		max	17,00529782	69,73392302	-193,860818
	min	-23,27595892	108,0186415	250,3835508		min	44,64626543	52,19095402	-206,3476514
	mittlerePos	6,812633863				mittlerePos		59,97285931	-201,7274588



	ROM_Weg	36,40158375	30,06365997	15,05114158		ROM_Weg	27,64096761	17,54296899	12,48683335
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P7_prae_1.5_g_ob	max	13,44558405	63,47152507	269,8569763	P7_post_1.5_g_ob	max	12,94800687	70,01137969	-191,8759199
	min	-40,92992053	99,66357455	244,6647687		min	51,85594965	47,68164196	-209,255644
	mittlerePos	8,757425972				mittlerePos		58,53438399	-201,7351946
	ROM_Weg	54,37550458	36,19204948	25,19220758		ROM_Weg	38,90794278	22,32973773	17,37972409
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P7_prae_1.5_j_ob	max	29,63701531	52,80517587	270,3660787	P7_post_1.5_j_ob	max	11,47940979	71,98746514	-187,568103
	min	-27,8144281	100,5374017	238,2583827		min	45,52527683	39,57598258	-208,1723682
	mittlerePos	14,62578974				mittlerePos		54,49248775	-200,6706018
	ROM_Weg	57,4514434	47,73222585	32,10769599		ROM_Weg	34,04586704	32,41148256	20,60426515
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P7_prae_1.8-j_ob	max	-28,91139042	104,709451	-221,6937154	P7_post_1.8_j_ob	max	7,478049623	83,55947312	-166,6708786
	min	-102,732253	54,42344163	-267,1197605		min	52,22318246	39,41970172	-209,5688468
	mittlerePos		73,08749346	-249,3698421		mittlerePos		57,80808855	-195,7276106
	ROM_Weg	73,82086263	50,28600933	45,42604507		ROM_Weg	44,74513284	44,1397714	42,89796824
	Parameter	X	Y	Z		Parameter	X	Y	Z
P7_prae_1.8_j_bh	max	11,42220196	39,86672186	271,247018	P7_post_1.8_j_bh	max	12,90884238	77,94582939	-168,5683079
	min	-16,18916314	81,03573643	221,5603942		min	36,49202642	40,89242104	-217,0002303
	mittlerePos	5,816005851				mittlerePos		55,39496358	-196,8260939
	ROM_Weg	27,61136509	41,16901458	49,68662384		ROM_Weg	23,58318404	37,05340836	48,43192242

#### Kraft P1

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P1_prae_0.8_g_ob	max	1,94710659	1,261204527	1,193408901	0,875371557	P1_post_0.8_g_ob	max	1,112068727	0,576037824	0,71658896	0,530218407
	min	2,168445161	2,705184249	1,666564069	0,827330344		min	0,838276033	0,673398131	0,747891626	0,585582565
	mittlerePos	0,657283458	0,657246353	0,501574343	0,424222815		mittlerePos	0,292038479	0,232791554	0,216937989	0,171293855
	mittlereNeg	0,970668864	1,337287924	0,714924328	0,369798233		mittlereNeg	0,302096533	0,299334869	0,240554966	0,214524062
	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P1_prae_1.2_g_ob	max	3,039873355	3,008809943	2,329508125	2,185330652	P1_post_1.2_g_ob	max	1,974627393	1,885057573	1,071518442	1,049254521
	min	3,939253644	3,366705387	2,278910184	1,654609073		min	3,475983487	1,736116315	1,387601648	1,066458166
	mittlerePos	1,293158455	1,207564022	1,379937734	1,008615675		mittlerePos	0,929167908	0,677086897	0,437581269	0,443311536
	mittlereNeg	1,891399197	1,979378169	1,301059289	0,749070167		mittlereNeg	0,977428751	0,676949688	0,513737436	0,394730064
	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P1_prae_1.5_g_ob	max	7,782542887	3,283598092	4,567253754	3,26070313	P1_post_1.5_g_ob	max	2,110171464	0,98040116	1,134686258	1,420909239
	min	7,314736497	4,657990163	5,445920399	3,446520322		min	1,721871933	0,759735746	1,646136217	0,961776264
	mittlerePos	2,922061885	1,745556343	2,185372598	1,704948059		mittlerePos	0,74857645	0,420142073	0,496357933	0,447183414
	mittlereNeg	3,768781415	-2,41555962	2,171621605	1,435954009		mittlereNeg	0,705612047	0,338217069	0,524046062	0,444101741
	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P1_prae_1.5_j_ob	max	12,23128944	23,04588802	15,41197339	17,3370944	P1_post_1.5_j_ob	max	3,690330896	2,298331401	3,009167898	2,225273539
	min	12,33746699	16,65389603	23,24886663	15,97514088		min	2,257377002	1,940460831	3,054952872	2,721011402
	mittlerePos	4,576343697	7,015321136	4,758057945	5,909238283		mittlerePos	0,881403417	0,776096141	0,941817532	0,705627743
	mittlereNeg	-4,20334187	5,894274506	8,177601499	4,362032201		mittlereNeg	0,941215569	1,107072153	0,933748227	0,912352452
	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P1_prae_1.8_j_ob	max	20,59652369	39,12907111	41,54525024	23,22112998	P1_post_1.8_j_ob	max	4,244619221	3,693846847	6,142227263	5,464360881
	min	26,17340503	24,14104376	36,07838112	35,07122787		min	-4,35208187	-3,1221958	-6,73244583	5,396649876
	mittlerePos	8,008615036	9,888992539	9,718882119	10,80427731		mittlerePos	1,484600052	1,303023515	1,764800242	1,491046535
	mittlereNeg	-8,20353476	7,470525721	14,79861413	8,552130491		mittlereNeg	1,358308952	1,403097462	2,285163725	2,057054836

					P1_post_1.8_j_bh					
						Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	2,781078065	2,735194999	5,10994466	3,066682192
						min	2,819166278	2,088897048	4,336632363	4,135764395
						mittlerePos	1,024653668	1,054895467	1,289690112	0,892398316
						mittlereNeg	1,044817881	1,048724054	1,355291566	1,108492214
Kraft P2										
					P2_prae_0.8_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	27,21323222	10,75754	4,208005666	4,764852476
						min	33,42479311	9,763741688	-6,63295734	5,723245632
						mittlerePos	7,440447894	3,831489384	1,888547063	1,555427868
						mittlereNeg	6,924224561	3,148519037	2,187937083	1,644664258
					P2_post_0.8_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	2,808545702	1,32480091	2,072298071	2,070110429
						min	2,245392698	1,882836027	1,962728673	2,015953789
						mittlerePos	1,125852013	0,607527475	0,692021387	0,69734636
						mittlereNeg	-0,91910171	0,677034236	0,730984155	0,662572714
					P2_prae_1.2_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	26,22197551	14,55897296	11,13480531	8,541923469
						min	39,94872201	12,98671961	9,004189635	8,828497962
						mittlerePos	8,701208409	7,75486432	4,203845572	2,035061684
						mittlereNeg	7,498743437	5,245197911	3,616772988	2,743526356
					P2_post_1.2_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	4,954202667	1,761799122	2,610675763	1,665119479
						min	3,240351594	2,137492492	1,922307732	3,020058239
						mittlerePos	1,863755754	0,874623012	0,935969529	0,763256297
						mittlereNeg	1,412036557	0,994549821	0,852656539	0,689946057
					P2_prae_1.5_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	27,25506624	20,63815187	10,84201009	7,854447922
						min	31,74357752	13,42325392	11,52027061	-9,73930509
						mittlerePos	10,63285474	7,979386144	5,179441671	2,995170847
						mittlereNeg	9,930333087	5,555085434	4,212614922	3,374442358
					P2_post_1.5_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	7,013623071	2,087528017	2,878312506	2,331305047
						min	4,920516696	3,053069682	2,529241966	3,768355116
						mittlerePos	2,198183623	1,035058519	1,116039319	0,976645611
						mittlereNeg	1,947842967	1,206429879	-1,1680206	0,950010285
					P2_prae_1.5_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	57,97944862	25,13956399	24,62285815	18,86264999
						min	54,16976698	32,13031398	34,56254056	17,35346587
						mittlerePos	18,64540224	8,077324676	7,451986473	6,558729369
						mittlereNeg	17,37836168	-8,57508913	-12,2808575	-5,48592345
					P2_post_1.5_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	11,50677922	4,758413502	4,709923645	4,52226484
						min	7,514984267	5,647474227	6,226485403	6,448138615
						mittlerePos	3,412571416	1,842439477	1,19950796	1,512728316
						mittlereNeg	2,139503494	1,830844717	2,114018076	1,474463678
					P2_prae_1.8_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	63,67371286	27,87269044	26,5222962	19,08475446
						min	51,16657268	32,88564626	33,35946676	19,47004982
						mittlerePos	18,95774337	6,952040495	7,814638815	6,442516385
						mittlereNeg	17,79720249	11,60033846	11,28613272	5,355486421
					P2_post_1.8_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	20,68504938	7,806674593	7,088186862	7,49299418
						min	-14,2782692	7,213554599	-9,07753584	10,50817931
						mittlerePos	5,740599131	2,422547757	2,177883187	2,558114459
						mittlereNeg	3,160995695	2,377650169	3,240570588	2,284779592
					P2_prae_1.8_j_bh	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	56,9077552	16,71514129	46,74601281	25,890314
						min	52,64482468	26,47513005	36,56093823	43,49478411
						mittlerePos	13,80918694	7,901411971	16,02866466	9,507353495
						mittlereNeg	13,13171612	9,586488545	14,62493777	12,55848447
					P2_post_1.8_j_bh	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	13,74180963	4,908250478	12,01239403	8,330879743
						min	7,862642514	-6,62330214	9,935398781	11,36967514
						mittlerePos	2,391440718	2,089495924	2,786821481	2,686099303
						mittlereNeg	2,655129339	2,022120583	3,199622311	3,051091046
Kraft P3										
					P3_prae_0.8_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	2,919228708	3,188459828	1,017933282	1,13790104
						min	3,314074592	2,107650335	1,455312693	1,191662694
						mittlerePos	1,005784982	0,820195815	0,374864423	0,34174254
						mittlereNeg	1,104753213	0,708435115	0,431698482	0,346490051
					P3_post_0.8_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	0,895073168	0,644050932	0,239369257	0,367082965
						min	-0,93763528	0,574223941	0,319745178	0,293029449
						mittlerePos	0,303713203	0,222398933	0,084112835	0,129517091
						mittlereNeg	0,344207116	0,170346567	0,123403411	0,107133524
					P3_prae_1.2_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	5,201871355	3,317883259	0,996066037	1,215629453
						min	-5,20943925	3,094024658	1,946589973	1,455707337
						mittlerePos	1,460950295	0,971471455	0,425884902	0,459374592
						mittlereNeg	1,681601029	0,988291612	0,558351858	-0,40031946
					P3_post_1.2_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	1,084140676	0,686824225	0,785574737	0,739467491
						min	1,108826038	-1,11499188	0,631376517	0,703939175
						mittlerePos	0,442882633	0,300105853	0,277630093	0,290572697
						mittlereNeg	0,348446082	0,285993456	0,238893677	0,249105565
					P3_prae_1.5_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	5,450857071	4,964598808	3,335129179	2,61002292
					P3_post_1.5_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
						max	1,384907417	0,892584964	1,163314862	1,062939149

	min	7,197598234	4,036875313	2,878020711	3,560652126	min	1,011197779	1,260466496	0,942194672	1,041197724	
	mittlerePos	2,568523938	1,324128845	1,235368136	0,885571178	mittlerePos	0,627636067	0,283461949	0,343825715	0,487291749	
	mittlereNeg	2,659194555	1,470693172	0,899611474	1,222542826	mittlereNeg	0,424009618	0,434153706	0,404635955	0,354551042	
P3_prae_1.5_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	22,45040056	9,84309762	9,136384139	9,957391487	P3_post_1.5_j_ob	max	4,487809559	2,321188818	2,465697855	2,845534778
	min	30,00033688	9,937386854	18,15619131	8,880893109	min	4,017142575	3,134496681	-3,59103598	2,615534155	
	mittlerePos	5,462364013	3,580623149	2,727703123	3,470652884	mittlerePos	0,944506024	0,701421521	0,634795184	0,797474713	
	mittlereNeg	5,617234834	3,334090871	4,654750628	2,359527212	mittlereNeg	1,141761702	0,770541031	0,984230573	0,645869112	
P3_prae_1.8_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	21,28854887	15,94774996	15,47506427	10,40000709	P3_post_1.8_j_ob	max	7,411091094	4,217204515	5,001572509	4,148368891
	min	32,20238635	14,35703892	23,28204057	10,17351082	min	7,494058841	5,448015476	5,047535666	6,039562194	
	mittlerePos	6,972955313	4,864431735	4,282226775	4,156655762	mittlerePos	1,978727991	1,057649733	1,190653183	1,450846239	
	mittlereNeg	7,608994046	4,522459887	5,617478348	3,301196541	mittlereNeg	1,652480054	1,280090961	1,775432965	1,325651234	
P3_prae_1.8_j_bh	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	19,27808776	13,57276797	22,039534	9,803502133	P3_post_1.8_j_bh	max	3,733319472	1,22362599	4,823422706	3,888898465
	min	17,38926895	10,78977656	14,50756208	20,98635067	min	3,862168267	2,598929054	4,448313838	4,703685516	
	mittlerePos	9,533574861	3,743025881	6,097020546	4,467246647	mittlerePos	1,069048377	0,590862817	1,141502006	1,245034981	
	mittlereNeg	6,340440045	3,264662706	5,869305771	5,896535061	mittlereNeg	0,893361652	0,848613087	1,384672288	1,138102197	
Kraft P4											
P4_prae_0.8_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	4,764452241	3,15717849	1,504355041	1,416970426	P4_post_0.8_g_ob	max	3,646461774	0,87639266	0,434681071	0,885021127
	min	5,788242068	-3,59325374	2,094755226	1,935609001	min	2,622685249	0,738350882	0,913158811	-0,68888224	
	mittlerePos	2,089271812	0,915501379	0,447542594	0,410142492	mittlerePos	1,001396728	0,301816616	0,174070906	0,328746318	
	mittlereNeg	2,002108865	1,206163696	-0,46454196	0,398120654	mittlereNeg	0,954509206	0,278748773	0,224568573	0,260222767	
P4_prae_1.2_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	11,99312743	3,437609196	2,700609495	1,996471099	P4_post_1.2_g_ob	max	2,97739655	0,958198452	1,2307875	0,786197314
	min	7,991481789	3,988024518	2,129195996	4,407519229	min	2,010186795	1,138582024	0,801026767	1,300321807	
	mittlerePos	3,024291313	1,085277863	0,93208066	0,832761327	mittlerePos	0,952240964	0,348978736	0,296497621	0,272380708	
	mittlereNeg	2,797705355	1,292862758	0,947491954	0,915043572	mittlereNeg	0,895124286	0,394621913	-0,25451093	0,351237694	
P4_prae_1.5_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	11,99991876	4,754708319	3,569564692	2,724017197	P4_post_1.5_g_ob	max	10,1790853	1,767453548	2,387263813	2,448909878
	min	8,044076861	7,356164934	3,174577397	4,588496337	min	7,548074946	3,456869168	1,848287414	3,850536533	
	mittlerePos	3,114786163	1,832690528	1,45055556	1,016361835	mittlerePos	2,074827662	0,561293368	0,502721639	0,565021532	
	mittlereNeg	-4,0779492	1,778321073	1,316085807	1,322342696	mittlereNeg	1,872994465	0,691090915	0,586640204	0,836015433	
P4_prae_1.5_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	44,65965577	26,53003172	25,23711422	21,98175241	P4_post_1.5_j_ob	max	9,133774474	4,21653956	8,604803694	7,842983758
	min	43,79842759	16,31926503	-37,3198591	36,45086596	min	12,01188379	4,596689589	10,02921645	8,400941646	
	mittlerePos	9,189630153	7,439161615	11,19604384	8,763153136	mittlerePos	2,374560971	1,227700411	1,753988393	2,342067386	
	mittlereNeg	8,392975117	6,188644527	8,555348157	7,999064426	mittlereNeg	-2,48872248	1,287113892	3,420404532	1,681901407	
P4_prae_1.8_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	52,82689809	33,49722172	14,42400761	13,40180827	P4_post_1.8_j_ob	max	14,81851593	6,695202714	14,25437314	9,927124489
	min	34,83130054	13,02843083	35,79788922	29,15579752	min	12,82175753	5,997691422	11,07225341	14,68370807	
	mittlerePos	9,792379355	8,01571408	7,512382197	6,720457555	mittlerePos	3,84174075	2,01734231	3,186721735	3,201885395	
	mittlereNeg	8,911317782	4,537489554	11,88059596	10,20552339	mittlereNeg	3,004943049	1,879884634	4,217033387	3,468496914	
P4_prae_1.8_j_bh	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	15,13780539	12,95391661	24,87318984	20,13282145	P4_post_1.8_j_bh	max	16,27233525	4,287155476	10,74684257	7,621547385
	min	26,09042248	17,13862776	43,99578201	39,18227029	min	14,06954142	-4,21229149	9,351787344	11,85101581	
	mittlerePos	5,690403679	6,112603735	8,649878976	6,589018471	mittlerePos	3,353157684	1,222349802	3,124585812	2,594530209	
	mittlereNeg	7,047701105	7,128601358	13,90400041	12,81956239	mittlereNeg	-3,37502432	1,440964888	3,039571789	-3,06721178	

# Kraft P5

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
MT_prae_0.8_g_ob	max	7,431838989	5,38868022	1,612723971	0,664549866	P5_post_0.8_g_ob	max	0,88836432	0,548507529	0,341423852	0,579648988
	min	4,119302125	4,615531138	3,290876749	1,450395074		min	1,256101844	1,246395421	0,767801752	0,407163081
	mittlerePos	1,68142086	1,498506566	0,570057178	0,252486291		mittlerePos	0,330588108	0,218261138	0,146525132	0,159205785
	mittlereNeg	1,413316461	1,340522852	0,839022473	-0,34270806		mittlereNeg	0,412259513	0,306895098	0,162760822	0,129035984

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P5_prae_1.2_g_ob	max	15,62445014	11,6623304	5,040625628	6,061858199	P5_post_1.2_g_ob	max	1,150655552	0,818660596	0,553990708	0,409203334
	min	12,84032683	-13,6920538	5,058420889	5,382183303		min	1,001856781	0,796500981	0,761306097	0,453831473
	mittlerePos	4,447804628	3,919333753	1,923574056	1,880108245		mittlerePos	0,500530926	0,285966861	0,232009828	0,170282388
	mittlereNeg	4,308582809	4,273471716	2,129407038	1,278942871		mittlereNeg	0,430088163	0,445988122	0,293144291	0,206366633

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P5_prae_1.5_g_ob	max	17,26989118	19,51601918	10,14201656	5,866056957	P5_post_1.5_g_ob	max	4,416069606	1,775620761	0,852127624	0,783444143
	min	27,03174168	16,88389205	6,861594786	4,990382743		min	2,438433268	2,027474604	1,334780905	0,669508269
	mittlerePos	5,464007353	4,839531241	2,834407281	2,11088706		mittlerePos	0,958164415	0,772657815	0,391034269	0,38127071
	mittlereNeg	-7,61261703	5,516080406	2,960383995	1,721977721		mittlereNeg	-1,03097704	0,865221982	0,474366606	0,285332585

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P5_prae_1.5_j_ob	max	22,47354917	29,04633242	8,524597921	11,49101422	P5_post_1.5_j_ob	max	3,614278329	4,249879621	1,776698172	6,03984379
	min	28,45383508	26,57212954	19,04981044	16,49713731		min	6,454348183	5,000982559	4,853376553	2,254475017
	mittlerePos	7,851271668	12,43686635	3,192178849	3,91747797		mittlerePos	2,449562078	1,941539124	1,153607868	2,997800455
	mittlereNeg	-11,4727535	9,786332449	5,837545782	-4,92535639		mittlereNeg	3,366694769	3,672846413	-2,37186698	1,582760422

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P5_prae_1.8_j_ob	max	23,79327643	17,34033434	23,51968023	22,61629129	P5_post_1.8_j_ob	max	12,78614044	28,128684	6,430876198	12,3641626
	min	21,21905016	25,47526728	21,76965046	26,94779658		min	13,28264963	22,46203124	15,70476296	16,91611746
	mittlerePos	5,01577522	4,532976321	5,661337717	6,54215506		mittlerePos	3,0058265	6,029579513	2,218774957	4,102072506
	mittlereNeg	6,740705025	7,597498653	7,988119766	5,398915459		mittlereNeg	3,801897944	-5,67897508	5,062950118	2,716612808

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P5_prae_1.8_j_bh	max	13,71566608	17,85942338	23,30562635	18,21809897	P5_post_1.8_j_bh	max	21,11984059	5,694860891	9,972786035	6,608285879
	min	23,63825385	20,83286743	-29,4521092	24,17117157		min	-16,9000429	3,586861158	8,601585317	12,00622663
	mittlerePos	3,413423256	5,153399769	5,943964181	6,146170924		mittlerePos	3,681162413	1,287741291	2,253798339	2,85124588
	mittlereNeg	3,870342932	6,372477352	8,029952576	-6,01984474		mittlereNeg	3,341177678	1,162033479	3,202594331	2,426601867

# Kraft P6

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P6_prae_0.8_g_ob	max	3,759735589	2,202891505	1,573465668	1,642324562	P6_post_0.8_g_ob	max	1,963306642	0,934195849	1,050256372	1,013311545
	min	4,156519497	2,828981242	2,253590575	1,500721945		min	2,231771101	0,939231663	1,467368795	0,915357551
	mittlerePos	1,271135701	0,905947493	0,608804176	0,641370666		mittlerePos	0,566674394	0,423439459	0,385584266	0,346696424
	mittlereNeg	1,345274439	0,822390841	0,731856654	0,543463128		mittlereNeg	0,601511852	0,362921009	0,426786997	0,346077241

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P6_prae_1.2_g_ob	max	7,35949743	3,093096932	2,556621818	2,214364371	P6_post_1.2_g_ob	max	2,831165968	1,085158454	1,149556187	1,316792265
	min	6,688477776	2,649637461	4,212435633	3,366234247		min	2,533908817	0,854025455	2,065261924	1,111921207
	mittlerePos	2,606591145	1,489959548	1,164238203	1,086712864		mittlerePos	1,221245726	0,442708552	0,494964499	0,487577964
	mittlereNeg	2,736031271	1,175064595	1,219406012	0,915657658		mittlereNeg	1,022470154	0,385925846	0,505540022	0,438259237

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P6_prae_1.5_g_ob	max	8,285241447	4,514034815	3,415415091	2,372670762	P6_post_1.5_g_ob	max	4,710473001	2,188867201	1,889201463	1,678921265
	min	6,354099106	-3,72882217	4,895422459	3,274335928		min	3,348291113	1,846137803	1,839568879	2,420956642
	mittlerePos	3,196958159	1,863773541	1,303949508	1,054164767		mittlerePos	1,50062828	0,666731667	0,806879758	0,750688078
	mittlereNeg	2,821659947	1,731743154	1,612595225	1,337753814		mittlereNeg	-1,33706814	0,688535288	-0,69085659	-0,69586936

	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr
P6_prae_1.5_j_ob	max	25,67718309	10,82718301	10,97480658	15,34094316	P6_post_1.5_j_ob	max	5,550621364	3,614475452	2,671934551	5,344755
	min	-22,2249382	13,11821607	18,59921384	14,36207531		min	-7,00675613	2,971131708	6,031665133	2,832988801

	mittlerePos	6,166793061	3,743611559	2,653735807	3,890161145		mittlerePos	1,467449399	1,407286682	1,036923015	1,476170168	
	mittlereNeg	5,677956607	4,413329354	6,747707856	3,839146935		mittlereNeg	1,869691737	1,261145069	1,610793956	0,988080172	
	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	P6_prae_1.8_j_ob	max	37,10333552	23,42274393	22,84207537	20,7814611	P6_post_1.8_j_ob	max	8,714683764	5,731699907	4,269902022	6,666467712
		min	25,76480311	18,47297568	26,43156052	28,64805773		min	7,432163744	3,723869381	7,165347994	4,456563211
		mittlerePos	10,51918064	6,073870467	5,716298215	6,251176245		mittlerePos	2,233203948	1,885312227	1,56497105	1,781604181
		mittlereNeg	8,082793441	5,801986996	-7,79376367	-6,36492347		mittlereNeg	2,082961079	1,678095047	1,969455975	1,454571274
	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
P6_prae_1.8_j_bh	max	24,34864392	12,52310621	17,55425575	13,90614544	P6_post_1.8_j_bh	max	3,060425468	2,866783397	4,940176881	4,706079149	
	min	24,51358705	13,20374996	18,03257805	17,24252216		min	4,263136821	3,569975578	6,257568067	4,677915391	
	mittlerePos	5,698755574	3,325743698	4,682219662	4,517768158		mittlerePos	0,919139293	1,077620852	1,224930339	1,292671142	
	mittlereNeg	4,273102281	4,113578373	6,074772851	4,522711249		mittlereNeg	1,307088292	1,056438113	1,840128941	1,315399221	
Kraft P7												
P7_prae_0.8_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	5,26172417	2,904410093	2,530774772	1,822701369	P7_post_0.8_g_ob	max	1,697151271	1,096022477	0,871735484	0,726626126	
	min	5,946803709	4,305876728	1,601535457	1,275587346		min	1,173866039	0,742098691	0,709003751	0,629753248	
	mittlerePos	1,808978182	1,4942543	0,979794054	0,563909258		mittlerePos	0,534679007	0,337548895	0,280578609	0,229771682	
mittlereNeg	2,159007038	1,294772184	0,586439184	0,606599173	mittlereNeg		0,439459826	0,288833366	0,268632206	0,225947464		
P7_prae_1.2_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	8,231766788	4,595225329	3,084076517	2,035176811	P7_post_1.2_g_ob	max	2,361946566	1,155900295	1,05950754	1,074618043	
	min	6,956753024	3,628236074	2,482055821	1,869417141		min	2,631445505	1,585501086	1,281649867	1,552395484	
	mittlerePos	2,093388037	1,794475135	1,083227054	0,813623263		mittlerePos	1,033635001	0,428994253	0,523094838	0,476243081	
mittlereNeg	3,163820353	1,460544118	0,872334384	0,822512852	mittlereNeg		0,929725289	0,541970746	0,528893217	0,547581151		
P7_prae_1.5_g_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	12,21699899	6,111511293	4,148763241	3,690872273	P7_post_1.5_g_ob	max	3,545210413	2,147035222	1,970595721	1,018367441	
	min	11,42455024	-7,66239434	6,153075922	5,671099336		min	3,332612775	2,708578686	1,581504683	1,894552783	
	mittlerePos	3,858092376	2,273566968	1,903413472	1,578358169		mittlerePos	1,430901033	0,756348157	0,525625919	0,487052957	
mittlereNeg	4,287188839	3,212489952	1,944678791	-1,87129375	mittlereNeg		1,482037876	0,850817701	0,688562239	0,664987157		
P7_prae_1.5_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	32,03859959	17,76788043	13,03231648	12,22314285	P7_post_1.5_j_ob	max	5,904652092	3,506406535	3,387878458	2,769779313	
	min	20,83388374	-21,3481014	12,53748163	-13,5609683		min	4,121041233	3,663110051	3,670181947	-4,14869708	
	mittlerePos	6,458541446	7,006950631	5,70152861	4,260126499		mittlerePos	1,41422231	1,165712367	0,787716407	0,883660246	
mittlereNeg	6,393485203	4,201566796	2,764114552	3,779959216	mittlereNeg		1,126958501	1,149129367	1,176698428	1,137651579		
P7_prae_1.8_j_ob	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	23,52320488	17,78557921	16,90686605	16,4551722	P7_post_1.8_j_ob	max	16,2487927	8,59806774	7,84766538	6,394118392	
	min	20,35832686	24,22149063	15,74555942	23,73624816		min	9,226209805	-7,32838493	7,670603883	11,00277829	
	mittlerePos	4,574972221	4,562762901	4,245721276	5,265155511		mittlerePos	3,210803154	2,243528741	1,87083793	2,182398219	
mittlereNeg	5,726470133	6,342331496	-6,1509244	5,034069674	mittlereNeg		2,542431554	2,367703974	3,021592808	2,500394432		
P7_prae_1.8_j_bh	Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr		Parameter	Fx	Fy	Fz	Fr	
	max	25,53932206	16,12018268	16,00252327	11,94173423	P7_post_1.8_j_bh	max	9,669530528	5,314539747	8,095367876	5,998661794	
	min	16,51139537	12,57605021	22,16177809	17,95789491		min	5,658101871	4,141139001	7,088578374	9,069390839	
	mittlerePos	5,946204603	3,883233507	6,96178238	4,772040464		mittlerePos	1,817927427	1,424298094	2,706106624	2,433903972	
mittlereNeg	5,605657794	4,427956306	5,071205063	4,762471787	mittlereNeg		2,007649153	1,526415186	2,950509794	-2,854002		
Drehmoment P1												
P1_prae_0.8_g_ob	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz			
	max	0,35885637	0,459165356	0,232791249	P1_post_0.8_g_ob	max	0,105972702	0,141702646	0,071043201			
	min	0,740739835	0,401347567	0,199279896		min	0,156462814	0,178608255	0,066597171			

P1_prae_1.2_g_ob	mittlerePos	0,180924139	0,194484469	0,088777814	mittlerePos	0,050204221	0,044913087	0,031189151	
	mittlereNeg	0,345539762	0,140391714	0,067660301	mittlereNeg	0,059398923	-0,04852362	0,020880931	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	0,806312615	0,818941584	0,354065533	P1_post_1.2_g_ob	max	0,343268499	0,566669893	0,287588988
	min	0,889167917	0,691407018	0,240189252	min	0,328752105	0,357503245	0,180825059	
	mittlerePos	0,387489506	0,435308952	0,159997381	mittlerePos	0,13173617	0,163888177	0,073205925	
	mittlereNeg	0,469385778	0,256353203	-0,13548248	mittlereNeg	0,120460159	0,147041511	0,073197303	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	1,009380348	1,537231726	0,699613627	P1_post_1.5_g_ob	max	0,228871407	0,282212472	0,110729688
	min	1,316014022	1,746267154	0,595217058	min	0,206761909	0,326930452	0,163894093	
P1_prae_1.5_g_ob	mittlerePos	0,624722149	0,787861324	0,355990933	mittlerePos	0,09393191	0,113474147	0,04885973	
	mittlereNeg	0,602285572	-0,60636739	0,274805965	mittlereNeg	0,071377046	0,120219203	0,051186143	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	6,238146926	1,752251578	1,352090262	P1_post_1.5_j_ob	max	0,419827474	0,373820577	0,161598421
	min	3,552884739	1,881999401	2,247210354	min	0,414929443	0,613048225	0,303432074	
	mittlerePos	1,779032777	0,674028613	0,483943077	mittlerePos	0,150725791	0,145821256	0,079300189	
	mittlereNeg	-1,65753539	0,785494546	-0,66716111	mittlereNeg	0,232167235	0,134595614	0,086838077	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	10,60950377	3,428181471	2,917694081	P1_post_1.8_j_ob	max	0,9034574	0,413080041	0,380923407
	min	5,949907132	3,216737061	3,491069093	min	0,804048732	0,446172503	0,411900548	
P1_prae_1.8_j_ob	mittlerePos	2,906707702	1,308612517	0,805958135	mittlerePos	0,306985152	0,161842557	0,12710222	
	mittlereNeg	2,064733903	-1,53978729	-1,0535454	mittlereNeg	0,362134544	0,180794318	-0,14134321	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	10,60950377	3,428181471	2,917694081	P1_post_1.8_j_bh	max	0,432196654	0,382083983	0,270218518
	min	5,949907132	3,216737061	3,491069093	min	0,596195946	0,318391767	0,169712455	
	mittlerePos	2,906707702	1,308612517	0,805958135	mittlerePos	0,221901422	0,149478716	0,091034943	
	mittlereNeg	2,064733903	-1,53978729	-1,0535454	mittlereNeg	0,251028922	0,154557682	0,077681354	
	Drehmoment P2								
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	P2_prae_0.8_g_ob	max	3,876190284	10,78281001	4,673311875	P2_post_0.8_g_ob	max	0,389625602	0,430539711
min	-3,87960732	8,630103353	4,033218868	min	0,383547816	0,709543332	0,330952024		
mittlerePos	1,314982728	2,247389913	0,959668371	mittlerePos	0,195457731	0,195686066	0,113450607		
mittlereNeg	1,347897645	2,415983853	1,076232248	mittlereNeg	0,161054403	0,232888446	0,116939154		
P2_prae_1.2_g_ob	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	5,516353786	12,68149101	5,906783022	P2_post_1.2_g_ob	max	0,553186814	0,679580714	0,334487905
	min	5,277948593	8,095054509	4,081670316	min	0,583393078	1,187851727	0,574927145	
	mittlerePos	2,572582002	2,330671847	1,228207288	mittlerePos	0,243989407	0,30234691	0,149180755	
	mittlereNeg	2,450997226	2,820165553	1,367780755	mittlereNeg	-0,24792122	0,385257357	0,225354409	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	7,739633627	10,258891	3,242226172	P2_post_1.5_g_ob	max	0,627843631	1,02731024	0,463478156
	min	5,536748084	8,724025521	2,669756869	min	0,805753225	1,725774763	0,838347701	
	mittlerePos	2,878816955	3,338054716	1,036628483	mittlerePos	0,260901342	0,416008367	0,173877789	
	mittlereNeg	2,268328628	3,308539637	1,134322871	mittlereNeg	-0,29047735	0,472709207	0,260429637	
P2_prae_1.5_g_ob	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	
	max	10,10700788	17,85131025	9,336066444	P2_post_1.5_j_ob	max	1,364568885	1,496529414	1,048435645
	min	13,08304586	19,18409299	6,425000517	min	1,423864074	2,140695669	1,380197212	
	mittlerePos	2,96943654	5,372129043	2,134861268	mittlerePos	0,462231911	0,446404969	0,276802866	
	mittlereNeg	4,059760321	6,126528555	-2,29827653	mittlereNeg	0,448444375	0,713655352	0,346479932	
	Parameter	Mx	My	Mz	Parameter	Mx	My	Mz	

P2_prae_1.8_j_ob	max	11,48572746	16,7738418	9,869360172	P2_post_1.8_j_ob	max	2,157685301	2,585244054	1,800604637
	min	-12,8928454	21,20037644	7,030801679		min	1,759562969	3,885039687	-2,18101551
	mittlerePos	2,761311785	5,492045704	1,980213336		mittlerePos	0,628037077	0,652447761	0,342316389
	mittlereNeg	4,946443816	6,247628511	2,162417865		mittlereNeg	-0,57708061	1,213203781	0,522077008
Drehmoment P2									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P2_prae_1.8_j_bh	max	7,111827905	11,41925888	8,355167471	P2_post_1.8_j_bh	max	1,719870321	2,058057134	1,22278251
	min	7,852262035	12,92433092	7,438448473		min	1,557134465	2,726938344	1,283907391
	mittlerePos	2,842113382	3,04626693	2,20633969		mittlerePos	0,533281173	0,602511213	0,295800154
	mittlereNeg	3,403547273	3,420847459	1,763883112		mittlereNeg	0,537659083	0,523485991	0,296529465
Drehmoment P3									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P3_prae_0.8_g_ob	max	0,811158378	0,829797642	0,227576655	P3_post_0.8_g_ob	max	0,117783877	0,162740272	0,052272954
	min	0,532706368	0,723634298	0,212425373		min	0,100157084	0,150374517	0,066356862
	mittlerePos	0,225781165	0,275554449	0,073886324		mittlerePos	0,041746913	0,056270565	0,018807474
	mittlereNeg	0,184537694	0,251186164	0,067390326		mittlereNeg	-0,03279663	0,055015276	0,015257002
Drehmoment P4									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P3_prae_1.2_g_ob	max	0,813239094	1,299106632	0,289906612	P3_post_1.2_g_ob	max	0,140180465	0,18767165	0,08647206
	min	0,900416523	1,293378518	0,342046864		min	0,203891717	0,190488705	0,045189805
	mittlerePos	0,247079836	0,422060344	0,097955322		mittlerePos	0,059343081	0,061109605	0,024221924
	mittlereNeg	0,263899435	0,365772732	0,098433884		mittlereNeg	0,052511642	0,075093773	-0,01977792
Drehmoment P5									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P3_prae_1.5_g_ob	max	1,187303426	1,79051647	0,372979256	P3_post_1.5_g_ob	max	0,182851149	0,163532825	0,094345475
	min	1,073782076	1,407863085	0,410779757		min	0,232880992	0,237230647	0,073175082
	mittlerePos	0,334430206	0,666075025	0,150573759		mittlerePos	0,053762097	0,062841418	0,023760626
	mittlereNeg	0,329268639	-0,64424274	0,173066218		mittlereNeg	-0,0766745	0,111539736	0,034828906
Drehmoment P6									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P3_prae_1.5_j_ob	max	2,784984606	6,909087047	1,814199172	P3_post_1.5_j_ob	max	0,46526708	0,761768415	0,279899195
	min	3,370392885	5,228742189	-1,22605126		min	0,586893618	0,716848203	0,283462552
	mittlerePos	0,977807106	1,343705468	0,398438939		mittlerePos	0,131406278	0,188471657	0,071167443
	mittlereNeg	-0,99857108	1,303184358	0,322014451		mittlereNeg	0,149236803	0,168574099	0,058816602
Drehmoment P7									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P3_prae_1.8_j_ob	max	4,675338065	7,541218589	1,376820395	P3_post_1.8_j_ob	max	0,878927035	1,024801677	0,501352647
	min	4,357228853	4,874263124	0,959873562		min	1,032891047	0,993328506	0,479095764
	mittlerePos	1,375741545	1,829231324	0,364830071		mittlerePos	0,198535576	0,271776144	0,094724658
	mittlereNeg	1,246652921	1,681881755	0,351377701		mittlereNeg	0,266873096	0,352445691	0,111078718
Drehmoment P8									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P3_prae_1.8_j_bh	max	4,034820319	4,548558901	1,216264476	P3_post_1.8_j_bh	max	0,313534522	0,540466706	0,223179109
	min	3,091028901	4,251079716	1,162972432		min	0,480571553	0,669578869	0,169429216
	mittlerePos	1,118627159	1,448116836	0,347583163		mittlerePos	0,106780207	0,146475839	0,053580379
	mittlereNeg	0,862572077	2,115032599	0,543795792		mittlereNeg	0,148549315	0,247879447	0,045515145
Drehmoment P9									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P4_prae_0.8_g_ob	max	0,970710566	1,51087149	0,727953942	P4_post_0.8_g_ob	max	0,185768689	0,510949027	0,231404618
	min	1,203440715	1,320973581	0,501808132		min	0,204093655	0,751010709	-0,29345884
	mittlerePos	0,277613254	0,535299224	0,215115544		mittlerePos	0,066534862	0,200190829	0,075652217
	mittlereNeg	-0,38972318	0,593738852	0,215542889		mittlereNeg	0,069771707	0,201928109	0,081409612
Drehmoment P10									
Parameter		Mx	My	Mz	Parameter		Mx	My	Mz
P4_prae_1.2_g_ob	max	1,123864385	3,130023252	1,003985176	P4_post_1.2_g_ob	max	0,196658778	0,429592558	0,151555344
	min	1,020548935	2,167863011	1,335497315		min	0,237927145	0,622234505	0,218351848
	mittlerePos	0,415369168	0,839170888	0,295888996		mittlerePos	0,07582005	0,18272976	0,067175404
	mittlereNeg					mittlereNeg			

	mittlereNeg	0,315923036	0,789680167	0,337214489		mittlereNeg	0,083098844	0,194425319	-0,06704164
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P4_prae_1.5_g_ob	max	2,368335764	3,149580314	0,99138082	P4_post_1.5_g_ob	max	0,368692961	1,516422163	0,557577861
	min	1,427394843	2,215509233	1,183038064		min	0,648053236	2,024578859	0,739933797
	mittlerePos	0,566834955	0,833568875	0,384461496		mittlerePos	0,120058111	0,386602381	0,122470104
	mittlereNeg	-0,49869561	1,205510165	0,355616889		mittlereNeg	0,150101678	0,431240772	0,147911815
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P4_prae_1.5_j_ob	max	4,608335611	11,50887151	4,114250301	P4_post_1.5_j_ob	max	1,468258043	2,171931157	1,014332579
	min	8,426346608	-11,1032524	4,283602367		min	1,299229396	1,486943949	-0,8405454
	mittlerePos	2,262157129	2,181791501	0,949356631		mittlerePos	0,377685403	0,443900982	0,215670923
	mittlereNeg	2,432705481	2,098804458	1,006500837		mittlereNeg	0,409078725	-0,45781461	0,189326892
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P4_prae_1.8_j_ob	max	3,853214298	14,230579	3,125934885	P4_post_1.8_j_ob	max	2,184108938	2,556104917	0,983612483
	min	11,82792348	-8,65988915	-4,59519167		min	1,418841716	2,618625988	1,180980917
	mittlerePos	1,598169787	2,458692522	0,805632475		mittlerePos	0,556235095	0,568073077	0,221329053
	mittlereNeg	3,121211822	2,228121616	0,921128637		mittlereNeg	0,574297144	0,715636847	-0,25061608
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P4_prae_1.8_j_bh	max	3,755855881	3,800231697	3,113713577	P4_post_1.8_j_bh	max	1,434637234	3,214417354	0,975849268
	min	2,281612249	9,071713037	2,021647503		min	0,841399741	2,805359925	1,253861018
	mittlerePos	1,158903954	1,6239209	1,087586298		mittlerePos	0,357072667	0,764654924	0,254833865
	mittlereNeg	0,892448867	2,278031505	0,915408406		mittlereNeg	0,336388392	0,731051491	-0,27827644
Drehmoment P5									
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P5_prae_0.8_g_ob	max	1,389781815	1,394566119	0,876172994	P5_post_0.8_g_ob	max	0,133250815	0,233792631	0,15843147
	min	1,229373147	2,570556332	1,103233585		min	0,308307988	0,211781003	0,059539845
	mittlerePos	0,401180306	0,477187765	0,242311102		mittlerePos	0,055144556	0,082706804	0,04251215
	mittlereNeg	0,367505807	0,564613208	0,249571273		mittlereNeg	-0,07648602	0,075388252	0,025612222
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P5_prae_1.2_g_ob	max	3,265414154	4,382930862	2,314436043	P5_post_1.2_g_ob	max	0,192735047	0,226553913	0,092705031
	min	3,696611664	5,120228389	2,017489782		min	0,214987506	0,261622286	0,105693253
	mittlerePos	1,059758395	1,375190786	0,675240841		mittlerePos	0,070421729	0,085476458	0,025610019
	mittlereNeg	1,208085936	1,637033803	0,602412965		mittlereNeg	0,107839578	0,157794157	0,023011767
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P5_prae_1.5_g_ob	max	5,795917223	9,042869912	2,564009256	P5_post_1.5_g_ob	max	0,415210432	0,579404561	0,254946662
	min	-5,10049877	-5,80446439	2,512190154		min	0,450189415	1,084443445	0,254847959
	mittlerePos	1,391002077	2,464192182	0,828005216		mittlerePos	0,1704735	0,220552423	0,081516329
	mittlereNeg	1,530480521	1,927725403	0,661305059		mittlereNeg	0,207546629	0,227118552	-0,09315886
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P5_prae_1.5_j_ob	max	7,776460956	8,543035853	4,41362271	P5_post_1.5_j_ob	max	0,91185397	1,038702475	0,516019534
	min	7,443132231	9,078382703	4,763933596		min	1,133686746	-0,70232589	0,313240982
	mittlerePos	3,424768394	3,129435041	1,624588837		mittlerePos	0,414919339	0,582066386	0,371033289
	mittlereNeg	-2,6318688	2,946382099	2,122874628		mittlereNeg	0,825520507	0,471542092	0,130283557
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P5_prae_1.8_j_ob	max	6,546097699	7,62675683	1,279635317	P5_post_1.8_j_ob	max	5,545516833	2,778600051	2,336681737
	min	7,812662612	5,629583189	2,356192636		min	4,677929907	3,222860948	2,186561935
	mittlerePos	1,565895577	2,538724717	0,432299302		mittlerePos	1,317505987	0,996156735	0,47096998
	mittlereNeg	2,478468358	1,537549017	0,324351619		mittlereNeg	1,148483516	0,757672944	0,535271914
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P5_prae_1.8_j_bh	max	5,880242299	6,873021726	2,449123225	P5_post_1.8_j_bh	max	1,533961805	3,64029725	1,446571705



	min	4,482730879	3,769624968	1,753393899		min	1,150740662	4,402050123	1,587185418
	mittlerePos	1,739899844	1,28252586	0,512122688		mittlerePos	0,400251921	0,717229055	0,276931579
	mittlereNeg	2,053080669	0,992912554	0,337397422		mittlereNeg	0,388893356	0,847296007	0,266028232
Drehmoment P6									
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P6_prae_0.8_g_ob	max	0,568463412	0,891801525	0,611251051	P6_post_0.8_g_ob	max	0,215709735	0,37497406	0,237519829
	min	0,622498661	0,835780452	0,534399184		min	0,268363736	0,431705676	0,213171882
	mittlerePos	0,241186751	0,280503803	0,165467768		mittlerePos	0,100394677	0,100769271	0,065478591
	mittlereNeg	0,219144139	0,295653825	0,151175139		mittlereNeg	0,091837766	0,112632287	-0,06554694
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P6_prae_1.2_g_ob	max	0,790146078	1,445624517	0,618388288	P6_post_1.2_g_ob	max	0,266227996	0,438230808	0,202314379
	min	0,804951158	1,741692115	0,731081458		min	0,308503502	0,645824147	-0,22565342
	mittlerePos	0,383459052	0,60482998	0,234118316		mittlerePos	0,100535785	0,191710735	0,075766331
	mittlereNeg	-0,33014651	0,604670551	0,244862442		mittlereNeg	0,091334137	-0,2654498	0,091199991
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P6_prae_1.5_g_ob	max	1,182654997	1,57292529	0,765588028	P6_post_1.5_g_ob	max	0,523165312	0,677041611	0,336649418
	min	1,012223752	2,113665683	-0,86815092		min	0,415590766	0,871413342	0,393655339
	mittlerePos	0,478418225	0,618289997	0,285201663		mittlerePos	0,161776225	0,226790876	0,111819027
	mittlereNeg	0,466142754	0,693090195	0,338153177		mittlereNeg	0,152126689	0,319918717	0,132026263
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P6_prae_1.5_j_ob	max	3,023950312	4,57164101	2,944476447	P6_post_1.5_j_ob	max	0,849943195	1,158275521	0,680858219
	min	2,992518969	4,644865851	2,233941117		min	0,814847356	0,920205737	0,557486419
	mittlerePos	0,997131426	1,004464886	0,808385781		mittlerePos	0,311928512	0,261967617	0,196189732
	mittlereNeg	1,211331938	1,292984005	0,556683773		mittlereNeg	0,317533451	-0,25690963	0,162224164
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P6_prae_1.8_j_ob	max	5,712393626	4,885361569	2,929694656	P6_post_1.8_j_ob	max	1,293142573	1,106382339	0,69587817
	min	4,307442165	7,942300861	4,927233766		min	0,842025016	1,445424473	0,989657414
	mittlerePos	1,610856123	1,475427403	0,916313957		mittlerePos	0,433279267	0,315773954	0,218712568
	mittlereNeg	1,734891729	1,856732144	1,178163091		mittlereNeg	0,414260972	0,346383846	0,272507155
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P6_prae_1.8_j_bh	max	3,051693094	5,301719978	2,165000228	P6_post_1.8_j_bh	max	0,752621775	0,852083653	0,435145805
	min	2,249415991	3,988307269	2,666337053		min	0,676421332	0,767274984	0,336340638
	mittlerePos	1,073219139	0,871237673	0,568827219		mittlerePos	0,262884123	0,234717088	0,152751832
	mittlereNeg	0,976742694	1,010561962	0,602625583		mittlereNeg	0,199532111	0,187588549	0,106713156
Drehmoment P7									
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P7_prae_0.8_g_ob	max	1,186742402	1,393328804	0,574288782	P7_post_0.8_g_ob	max	0,169045881	0,410959905	0,140930903
	min	-1,00474549	1,462370273	0,770861721		min	-0,2426301	0,264884123	-0,15448068
	mittlerePos	0,379670374	0,481800716	0,20279359		mittlerePos	0,068190831	0,117783098	0,045635536
	mittlereNeg	0,457643993	-0,58587049	-0,2352848		mittlereNeg	0,079110958	0,099111115	0,048619763
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P7_prae_1.2_g_ob	max	1,14862587	2,18147849	0,754339743	P7_post_1.2_g_ob	max	0,284531548	0,550516979	0,303227195
	min	1,411036702	1,775893614	-0,8643283		min	-0,31351018	0,578112072	0,252846434
	mittlerePos	0,431532753	0,576567376	0,213528304		mittlerePos	0,115620028	0,212932839	0,085066259
	mittlereNeg	0,534030786	0,839559623	0,265216312		mittlereNeg	0,122398541	0,207582949	-0,08156242
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P7_prae_1.5_g_ob	max	2,276599233	3,18842429	1,11316305	P7_post_1.5_g_ob	max	0,515974899	0,727138689	0,435638668
	min	1,315109441	2,992782339	1,304714114		min	-0,53711031	0,750406629	-0,35056454
	mittlerePos	1,00326268	1,099864942	0,339998143		mittlerePos	0,167284098	0,32339447	0,148074649
	mittlereNeg	0,655918865	1,194604805	0,352479289		mittlereNeg	0,178915756	-0,32127787	0,129855821

	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P7_prae_1.5_j_ob	max	6,09711547	8,077759501	3,995254907	P7_post_1.5_j_ob	max	0,839405038	0,779868468	0,634512707
	min	-	-	-		min	-	-	-
	mittlerePos	4,322156939	4,479437566	2,663530454		mittlerePos	-0,68252963	1,000233072	0,680546039
	mittlereNeg	1,235616866	1,647985961	0,646233307		mittlereNeg	0,257524462	0,234501615	0,142610647
		-	-	-			-	-	-
		1,806224883	1,524980842	0,842144872			0,278121699	0,278913482	0,180402087
		-	-	-			-	-	-
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P7_prae_1.8_j_ob	max	5,20689698	5,573831109	1,899442372	P7_post_1.8_j_ob	max	1,962860127	2,091156051	1,321290446
	min	-	-	-		min	-	-	-
	mittlerePos	5,975304714	5,359331913	2,099931534		mittlerePos	-1,38495247	2,604070652	1,856215444
	mittlereNeg	1,456212489	1,553643189	0,497080133		mittlereNeg	0,540845161	0,507121228	0,374330853
		-	-	-			-	-	-
		-1,87660192	1,232429054	0,422366567			0,587333325	0,608517917	0,364025757
		-	-	-			-	-	-
	Parameter	Mx	My	Mz		Parameter	Mx	My	Mz
P7_prae_1.8_j_bh	max	3,514978038	5,531449126	1,722736555	P7_post_1.8_j_bh	max	1,518238772	1,36132451	0,755758465
	min	-	-	-		min	-	-	-
	mittlerePos	4,739051558	5,336481295	2,055982804		mittlerePos	1,079094545	1,327730305	0,930573476
	mittlereNeg	1,16520577	1,539588253	0,367016426		mittlereNeg	0,42559926	0,357103981	0,211557596
		-	-	-			-	-	-
		1,361010012	1,492137594	-0,52395906			0,441470431	0,427748482	0,231968209
		-	-	-			-	-	-

## **7.2 Liste der akademischen Lehrer**

Meine akademischen Lehrer während meines Studiums waren die Damen/ Herren:

In Aachen:

Beier, Fahlke, Gais, Hütter, Kaufmann, Korr, Krenz, Lückhoff, Meisterfeld, Murken, Schaper

In Marburg:

Alfke, Arnold, Barth, Basler, Baum, Becker, Boudriot, Christiansen, Czubayko, Engenhardt-Cabillic, Gerdes, Görg, Grzeschik, Grundmann, Herrmann-Lingen, Hertl, Hoffmann, Hofmann, Jeck, Jungclas, Kann, Kill, Klenk, Klose, Krause, Krieg, Kroll, Kühnert, Lenz, Lohoff, Lorenz, Maier, Maisch, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neubauer, Oertel, Plant, Remschmidt, Renz, Richter, Rothmund, Schäfer, Schmidt, Schmidt, Schrader, Vogelmeier, Wagner, Werner, Wulf

In Giessen:

Weiler, Schneider

### **7.3 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. Wagner danken für die Bereitstellung des Themas und Korrektur der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Potthast aus dem Institut für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln danke ich für die Ermöglichung der Durchführung dieser Studie, für die vielen konstruktiven Ideen und die Begeisterung bei der gemeinsamen Konzeptentwicklung, für die Bereitstellung der Untersuchungs-Geräte und Räumlichkeiten, für die umfassende Hilfestellung bei den Messungen, bei Fragen und für die immer konstruktive Kritik bei der Bearbeitung und Korrektur der Arbeit.

Herrn Heinrich aus dem Institut für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln danke ich für die zeitaufwendige Hilfe bei den Messungen und der Auswertung der Ergebnisse sowie umfassende Beantwortung aller Fragen.

Ich danke Frau Dr. Fischer für die Hilfe bei den initialen Überlegungen zur Entstehung dieser Arbeit. Zudem danke ich Frau Moore und Frau Kozian für ihren Einsatz bei den ersten Voruntersuchungen zu dieser Arbeit.

Ich danke Johannes und Jelena für die Hilfe bei der Korrektur der Arbeit.

Meinen Eltern möchte ich danken für die Unterstützung. Ohne sie wäre mein Studium und damit auch diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein Dank richtet sich auch an die Patientinnen, die sich für diese Arbeit zur Verfügung gestellt haben. Sie haben zweimalig den Weg nach Köln mit mir aufgenommen und sich damit durch die Teilnahme an dieser Studie für andere Frauen, die unter einer Mammahypertrophie leiden, eingesetzt.

Mein tiefster Dank gilt jedoch Herrn Dr. Zwioerek für die Konzeptentwicklung und Umsetzung, für die umfassende Betreuung bei dieser Arbeit und die immer konstruktive Kritik und Korrektur - ein großartiger Lehrer nicht nur in Wissenschaft und Klinik, sondern auch für das Leben selbst.